

## CAPITOLUL 2

### CONTROLUL CU PENETRANȚI LICHIZI și GAZOSI

#### 1. PARTICULARITĂȚI

Metoda de control cu lichide penetrante este cunoscută și aplicată sub formă rudimentară (de exemplu: petrol cu praf de carbonat de calciu în amestec cu alcool) de peste un secol. Tehnicile moderne, într-o manieră similară celor folosite astăzi, se cunosc din preajma celui de-al doilea război mondial. Perfecționările ulterioare își au originea în dezvoltarea aviației, construcției de rachete, a tehnicii nucleare și aerospațiale.

Controlul cu lichide penetrante pune în evidență orice discontinuitate (imperfecțiune) de suprafață. Se poate aplica la orice material, formă și dimensiuni de piesă în condiții de hală sau șantier pe suprafețe uscate, la temperaturi de peste  $10 \div 15^{\circ}\text{C}$ .

Metoda este productivă, ieftină, ușor de folosit, se pretează și la controlul pe suprafețe (lungimi) mari. Rezultatele sunt concludente, imediate și ușor de interpretat. Indicațiile provenite de la discontinuități sunt mărite prin absorbția penetrantului de câteva ori.

Controlul cu lichide penetrante implică curățirea chimică a suprafeței de impurități, operații de spălare postoperatorie, mai ales atunci când se aplică interfazic, în cursul depunerii succesive a straturilor de sudură. Limitări apar în anumite cazuri datorită faptului că unele rețete de lichide penetrante utilizează materiale inflamabile și toxice, care reclamă măsuri corespunzătoare de spălare și evacuare.

Probabilitatea de detectare a defectelor este cu atât mai mare cu cât gradul de prelucrare a suprafeței examinate este mai fin. Metoda de control este relevantă pentru discontinuități cuprinse în intervalul 0,1 - 5 mm. La nivelul performanțelor maxime, nivelul de detectabilitate ajunge până sub un micron. Controlul cu lichide penetrante trebuie considerat ca o perfecționare și extindere în același timp a examinării vizuale. Controlul cu lichide penetrante a îmbinătorilor sudate implică, ca și controlul cu pulberi magnetice, examinarea unor zone de minimum 20 - 30 mm de o parte și de alta în lungul sudurii, ceea ce prezintă avantajul de a evidenția și eventualele fisuri propagate în materialul de bază. El poate fi aplicat în diferite faze de execuție. Limitările în aplicarea metodei pot fi cauzate numai de temperatură, întrucât penetranții obișnuiți nu pot fi folosiți la temperaturi ce depășesc  $50^{\circ}\text{C}$ . Există și lichide penetrante speciale, cu punct de inflamabilitate de peste  $250^{\circ}\text{C}$  [22], care fac posibil controlul între straturi depuse la sudare sau placare.

Pentru controlul la temperaturi joase s-au elaborat penetranți aplicabili până la  $-35^{\circ}\text{C}$  [10].

Controlul cu lichide penetrante se folosește cu rezultate bune și în cazul placărilor și al metalizărilor. Aria de întrebuințare nu este practic limitată de felul materialului, putând fi utilizat la toate tipurile de oțeluri, fonte, aliaje de aluminiu și magneziu și, în general la metalele neferoase, precum și la materiale amorfе, plastice, ceramice, sticlă etc.

Un domeniu de mare interes a metodei îl reprezintă controlul etanșeității produselor.

#### 2. PRINCIPIU ȘI METODE DE CONTROL

Controlul cu lichide penetrante constă în aplicarea pe suprafața supusă controlului a unui lichid cu bune calități de penetrare în discontinuitățile superficiale și evidențierea acestora prin contrast cu ajutorul unui dezvoltant (figura 1). Penetrarea în discontinuitățile cele mai fine - pori, fisuri ș.a. - se produce datorită fenomenului de capilaritate. Developarea penetrantului are loc datorită efectului de absorbție a dezvoltantului.

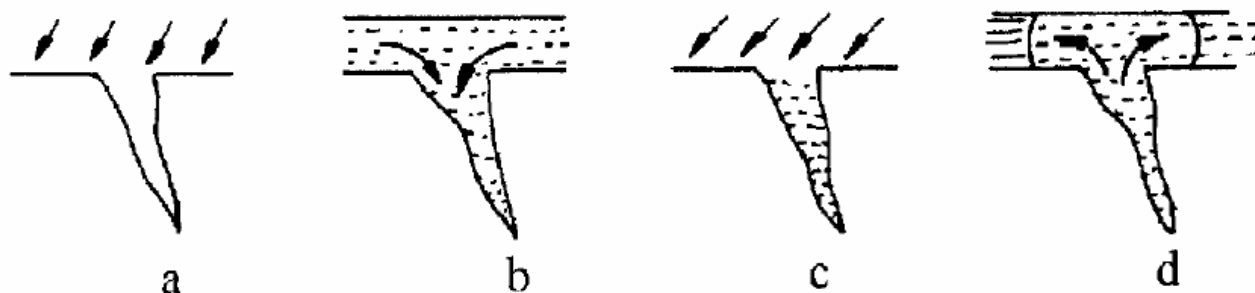


Fig 1. Principiul controlului cu lichide penetrante: a.- curățirea suprafeței: b.- aplicarea penetrantului și infiltrarea în discontinuitate: c. - îndepărtarea excesului de penetrant: d - aplicarea developantului și adsorbția penetrantului:

Controlul cu lichide penetrante pune în evidență în exclusivitate discontinuitățile deschise la suprafață, cum sunt: porii, fisurile, suprapunerile, lipsa de pătrundere îngust deschisă la suprafață, creștăturile marginale, exfolierile din materialul de bază, craterele. Relevante pentru controlul cu lichide penetrante sunt mai ales porii singulari și fisurile, fie ele termice, fie de oboseală, care în majoritatea cazurilor sunt dificil decelate la controlul vizual. Suprafețele poroase sau zonele cu densitate ridicată de pori sau foarte rugoase, nu pot fi controlate eficient datorită dificultăților de interpretare a indicațiilor relevate. În principiu, piesele se supun controlului înaintea aplicării tratamentelor termice sau a prelucrărilor prin așchiere întrucât, mai ales cele din urmă, pot masca sau chiar închide discontinuitățile mai fine.

Principalele metode de control cu lichide penetrante sunt următoarele:

- a) Metoda colorării la care contrastul pentru relevarea discontinuităților este unul de culoare, de obicei roșu pe fond alb, este cea mai frecvent utilizată;
- b) Metoda fluorescentă la care contrastul pentru relevarea discontinuităților este obținut prin strălucirea observată în lumină ultravioletă și câmp de examinare negru; contrastul este de regulă galben - verde pe fond violet închis;
- c) Metoda activării cu ultrasunete unde surplusul de energie de infiltrare a penetrantului folosit este asigurat cu ajutorul vibrațiilor ultrasonore și emisia undelor elastice în mediul de penetrare sau de postemulsionare. O frecvență mai joasă mărește capacitatea de pătrundere dar poate avea efecte perturbatorii sub 20 kHz.

Activarea cu ultrasunete se aplică mai ales în cazul controlului etanșeității produselor contribuind la învingerea forței de aderență și forțarea procesului de infiltrare a penetrantului. Cu bune rezultate se folosește la spălarea suprafețelor capilare de materiale contaminate. Vibrațiile contribuie de asemenea la minimizarea duratei de penetrare.

- d) Metoda cu trasor radioactiv, unde evidențierea discontinuităților se realizează prin impresionarea unui film radiografic aplicat în stare lichidă, de către substanțe radioactive conținute în mediul de penetrare.

Indiferent de felul penetrantului sau a developantului, controlul cu lichide penetrante comportă următoarele operații:

1. pregătirea suprafeței;
2. aplicarea penetrantului;
3. îndepărtarea excesului de penetrant;
4. aplicarea revelatorului;
5. examinarea suprafeței și interpretarea rezultatelor;
6. marcarea pe piesă a locurilor defecte.

În cazul folosirii penetranților cu postemulsionare este necesară o fază suplimentară de adăugare a agentului emulgator după epuizarea timpului de pătrundere a penetrantului.

Componentele se livrează în seturi de flacoane de 250 - 500 ml. Consumul de soluții este de aproximativ un flacon de 350 cm<sup>3</sup> la 50 - 100 m cusătură sudată. Proporția consumului între degresant - penetrant - developant este funcție de starea suprafeței, în general în limitele de 2-

2,5:1,2:1. Pentru aplicații diferite de cea prin pulverizare, componentele se livrează la bidoane speciale.

### 3. CAPILARITATE ȘI FACTORI DE INFLUENȚĂ

#### 3.1. Teoria tensiunii superficiale

Între moleculele stării lichide se exercită forțe de atracție, cunoscute sub denumirea de coeziune. Moleculele aflate la interfața lichid-solid (LS), respectiv la interfața lichid - gaz (LG), sunt supuse unui câmp de atracție asimetric, care tinde să micșoreze suprafața limită de separație. Ansamblul forțelor superficiale de atracție moleculară care se exercită pe unitatea de lungime a stratului limită dă naștere tensiunii superficiale.

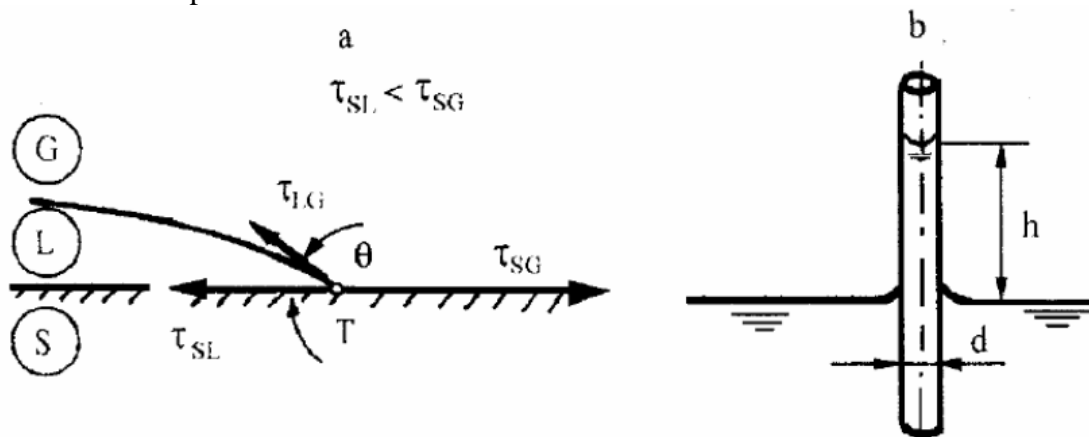


Fig. 2. Condiții de capilaritate ale lichidelor tensioactive:

a. -echilibrul tensiunilor superficiale la tripla interfață:

b. - ridicarea lichidului în tubul capilar:

Asupra moleculelor aflate la interfața lichid - solid se exercită, pe de o parte forțele de coeziune intermoleculară proprii, iar pe de altă parte, forțele coezionale de atracție a mediului solid de contact. Acest joc al forțelor moleculare determină adeziunea lichidului pe suprafața solidului, care depinde de natura celor două substanțe și în principal de tensiunile lor superficiale.

După cum rezultă din figura 2a, lichidele cu tensiune superficială  $\tau_{LG}$  mică, așa numite tensioactive, posedă o mare capacitate de umectare (întindere pe suprafață) și un unghi mic de contact,  $\theta$ . Pentru producerea umectării una din condițiile esențiale este ca între tensiunile superficiale ale straturilor limită solid - gaz. ( $\tau_{SG}$ ), respectiv solid - lichid ( $\tau_{SL}$ ), să se satisfacă inegalitatea:

$$\tau_{SG} > \tau_{SL} \quad (1)$$

La limita de separație a celor trei medii (punctul triplu T) din condiția de echilibru a tensiunilor superficiale rezultă:

$$\tau_{LG} \cdot \cos \theta = \tau_{SG} - \tau_{SL} \quad (2)$$

unde unghiul  $\theta$  este cuprins între 0 și  $10^\circ$ .

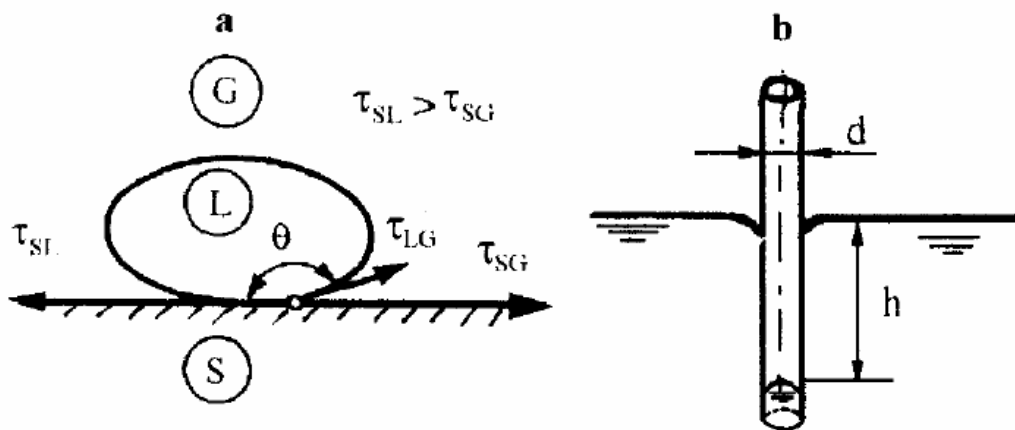


Fig. 3. Condiții de capilaritate ale lichidelor tensioinactive:  
a. - echilibrul terisiunilor superficiale la tripla interfață;  
b. -coborârea lichidului în tubul capilar.

Pe de altă parte, datorită faptului că adeziunea la aceste lichide este superioară propriei coeziuni, ele posedă bune însușiri de capilaritate (capacitatea de urcare în tuburi subțiri și menisc concav), figura 2b. Înălțimea coloanei capilare variază invers proporțional cu diametrul, respectiv deschiderea discontinuității. Astfel, în cazul apei  $h = 30/d$ .

Lichidele cu tensiune superficială  $\tau_{LG}$  mare, nu sunt umectabile și formează în punctul triplu un unghi mare de contact ( $\theta > 90^\circ$ ), care poate ajunge până la  $170^\circ$ , figura 3. În tubul capilar, coloana cu menisc convex se lasă sub nivelul lichidului în care este introdus tubul.

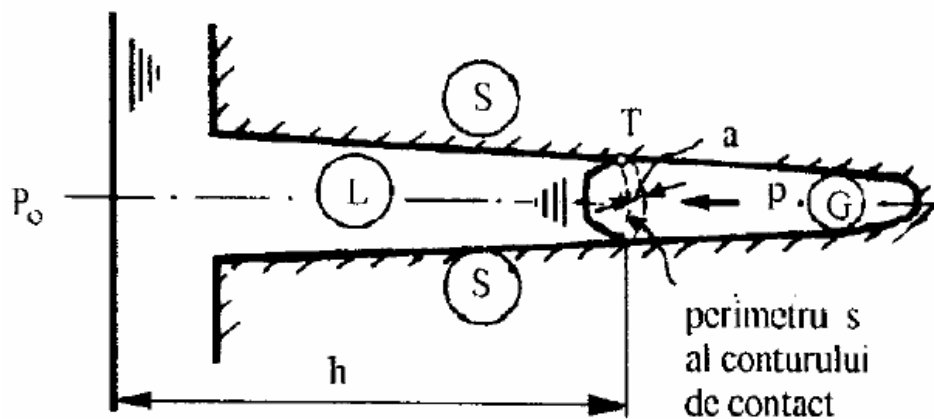


Fig 4. Pătrunderea lichidului tensioactiv în defect

În cazul unei discontinuități lichidul tensioactiv (L) pătrunde prin capilaritate și comprimă gazul (G) din interiorul său, figura 4. Adâncimea de pătrundere  $h$  este determinată de egalitatea dintre forța de înaintare provenită din tensiunea sa superficială și cea a forței care se opune înaintării prin mărirea presiunii interioare de la presiunea atmosferică  $p_0$  la  $p$ . Ecuația de echilibru dintre cele două forțe poate fi scrisă sub forma:

$$(\tau_{SG} - \tau_{SL})ds - (p - p_0)a \cdot dh = 0 \quad (3)$$

unde  $p$  este presiunea finală a gazului din vârful discontinuității,  $ds$  lungimea unui element de contur situat la tripla interfață la suprafața discontinuității, iar  $a$ , grosimea elementului de contur. Intrucât presiunea capilară:

$$p_c = p - p_0 = \rho \cdot g \cdot h \quad (4)$$

se poate scrie:

$$\tau_{LG} \cdot \cos\theta \cdot ds = p_c \cdot a \cdot dh \quad (5)$$

Dacă în continuare raportul  $ds/dh$  poate fi considerat constant ( $K$ ), fiind în funcție de configurația discontinuității în care a pătruns lichidul tensioactiv, se poate stabili limita dimensiunii discontinuității minim detectabile:

$$a = \frac{K \cdot \tau_{LG} \cdot \cos\theta}{p_c} \quad (6)$$

Rezultă că adâncimea minimă detectabilă este invers proporțională cu presiunea capilară și direct proporțională cu tensiunea superficială a lichidului penetrant.

Analiza relației (6) permite concluzii pertinente privind condițiile obținerii unei înalte sensibilități de detectare a defectelor cu lichide penetrante și anume:

- utilizarea unor penetranți cu tensiune superficială cât mai mică,  $\tau_{LG} \leq 0,1 \text{ N/m}$ ;
- capacitate mare de umectare ( $\theta \approx 0$ ;  $\cos \theta \approx 1$ );
- presiune capilară cât mai ridicată, ( $p_c \approx 2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ); ea nu depășește în general presiunea atmosferică mai mult de două ori;
- coeficient de formă cât mai mic ( $K = 2 \div 3,14$  pentru forme care variază de la fisură la incluziune de gaz sferoidală).

Înlocuind valorile cele mai favorabile în relația (6), rezultă că teoretic discontinuitatea minim detectabilă este de aproximativ 2 - 3 microni, ceea ce corespunde limitei de sensibilitate stabilită și experimental.

### 3.2. Factori de influență asupra capilarității

Din examinarea relațiilor (4), (5) și (6) rezultă că posibilitățile de infiltrare a lichidelor penetrante în discontinuități fine depind în principal de următorii factori:

1. tensiunea superficială a lichidului penetrant;
2. factorul de formă a discontinuității;
3. presiunea capilară;
4. temperatura suprafeței și a lichidului penetrant, care afectează vâscozitatea și tensiunea superficială;
5. presiunea atmosferică.

Capacitatea de infiltrare a lichidelor penetrante este influențată suplimentar și de câțiva factori de natură mecanică și chimică. Dintre aceștia rugozitatea suprafeței interioare a discontinuității și/sau obturarea mecanică a secțiunii capilare produc o mărire a unghiului de contact  $\theta$  și ca urmare micșorarea forței de infiltrare.

Straturile interioare de oxizi, având o energie superficială mai mare decât metalul curat  $\tau_{OG} > \tau_{SG}$  micșorează unghiul de contact, deoarece relația (2) este înlocuită de relația:

$$\tau_{LG} \cos\theta_0 = \tau_{OG} - \tau_{OL} \quad (7)$$

și cum  $\cos\theta_0$  trebuie să fie mai mare decât  $\cos\theta$ , rezultă  $\theta_0 < \theta$ . Așadar, dacă nu se produce o obstrucție mecanică cu modificarea secțiunii și a coeficientului de formă  $K$ , suprafața oxidată în interior ajută la pătrunderea capilară.

În cazul contaminării suprafeței interioare a discontinuității cu lichide rezultă o mărire a tensiunii superficiale și a unghiului de contact  $\theta$ , a amestecului ce se formează între penetrant și lichidul respectiv. Urmarea directă este micșorarea capacității de pătrundere a penetrantului. Apa conținută

în penetrant sau absorbită din aer, apa folosită la îndepărtarea excesului de penetrant solubil în apă, precum și emulsificatorul utilizat în sistemele cu post-emulsionare, produc același efect defavorabil. Penetrantul contaminat cu praf și particule coloidale, își pierde din capacitatea de infiltrare tot datorită măririi unghiului de contact.

Reducerea tensiunii superficiale a lichidului penetrant se obține și prin aditivare cu agenți superficiali activi și se exprimă prin relația:

$$\Delta\tau = \tau_{LS} - nkT \quad (8)$$

de unde rezultă că eficiența respectivă este influențată pe de o parte de concentrația superficială  $n$  a substanței absorbite și de temperatura absolută  $T$ ,  $k$  fiind constanta lui Boltzmann egală cu  $1,38 \cdot 10^{-23}$  J/°K. O altă sursă serioasă de contaminare a penetrantului o reprezintă substanțele organice, de exemplu uleiurile, grăsimea și vopsele, frecvent dispuse pe suprafața pieselor. Ele provoacă serioase neajunsuri dacă nu se degresează în mod corespunzător, deoarece pot obtura discontinuitățile. Cum majoritatea lor se dizolvă în lichidul penetrant, rezultă o mărire a vâscozității acestuia, o reducere a contrastului și o deteriorare a sistemului de emulsionare în cazul folosirii penetranților cu postemulsionare.

#### 4. CARACTERISTICILE LICHIDELOR PENETRANTE

Lichidele penetrante se clasifică după următoarele criterii:

a) după contrast - se cunosc:

- penetranți colorați;
- penetranți fluorescenți;
- penetranți combinați colorați și fluorescenți;
- penetranți radioactivi.

b) după solubilitate - se cunosc:

- penetranți solubili în apă (PSA), de tip 1, după normele ASTM [2];
- penetranți solubili în solvenți organici (PSO), de tip 3, după normele ASTM [2];
- penetranți cu postemulsionare (PPE), de tip 2, după normele ASTM [2].

Cel mai frecvent sunt utilizați penetranții colorați și fluorescenți solubili în apă.

Se menționează însă că penetranții solubili în solvenți organici sunt calitativ superiori celor solubili în apă. Penetranții fluorescenți sunt recomandați în cazul observării unor discontinuități liniare foarte fine deschise datorită contrastului superior creat prin strălucirea în câmp întunecat. Strălucirea este însă negativ influențată prin expunere îndelungată în lumină naturală sau la raze ultraviolete înainte de examinarea propriu-zisă, sau la temperaturi de peste 60°C.

Penetranții cu postemulsionare (PPE) sunt penetranții care pot fi spălați cu apă numai după adăugarea unui agent emulgator.

Compoziția lichidelor penetrante variază în limite largi. Penetranții au în componență un solvent organic clorurat sau neclorurat, un agent umectant și un colorant fluorescent sau roșu. Pentru a obține pe de o parte penetrabilitatea necesară, iar pe de altă parte o sensibilitate și o reproductibilitate superioară la examinarea suprafețelor, penetranții trebuie să posede o vâscozitate cinematică cât mai scăzută și cât mai puțin influențată de temperatură. Ei trebuie să asigure în același timp și condiții corespunzătoare de lavabilitate și de adeziune, spre a nu fi îndepărtați cu prea mare ușurință din locurile defecte. După [6], vâscozitatea dinamică optimă pentru satisfacerea celor două condiții este de 3 - 5 cP (centiPoise) la temperatura de 30°C pentru penetranții solubili în apă, iar după [27], de cca. 9,5 cP la temperatura de 38 - 40°C, la penetranții cu postemulsionare.

\*UM-CGS - vâscozitate dinamică - poise -  $1P = 0,1Pa \cdot s = 0,1Ns/m$

\*\*UM-CGS - vâscozitate cinematică - stokes -  $1St = 10^{-4}m^2/s$

Vâscozitatea cinematică a lichidelor este influențată în principal de temperatură, scăzând exponențial odată cu creșterea acesteia. La temperaturi sub 10-15°C nu se mai asigură o capilaritate

corespunzătoare, iar la temperaturi de peste 60-70°C componentele volatile ale penetranților obișnuiți se evaporă măbind astfel vâscozitatea, scăzând capacitatea de absorbție a developantului și modificând substanțial contrastul. Rezultatele optime ale controlului se obțin în domeniul de temperatură 25 - 40°C.

Dependența de temperatură a vâscozității cinematice la principalii penetranți pe bază de petrol utilizați în defectoscopie este de formă exponențială, fiind prezentată după [11] în figura 5.

Alături de condițiile de vâscozitate se subliniază și importanța posedării unei tensiuni superficiale cât mai mici pentru a facilita pătrunderea prin efect de capilaritate în cele mai fine discontinuități de material. Totodată penetrantul trebuie să asigure bune însușiri de contrast, stabilitate la lumina zilei, respectiv la raze ultraviolete.

Cantitatea de apă tolerată în penetranți PSA este în funcție de tipul penetrantului, fiind de regulă sub 5%, cu toate că există și soluții la care cantitatea tolerată ajunge la 20%. Mărirea cantității de apă provoacă micșorarea vâscozității, a concentrației și contrastului developantului. Efectele se fac simțite prin condensul format din atmosferă. Așa se explică necesitatea limitării temperaturii minime de folosire a penetranților.

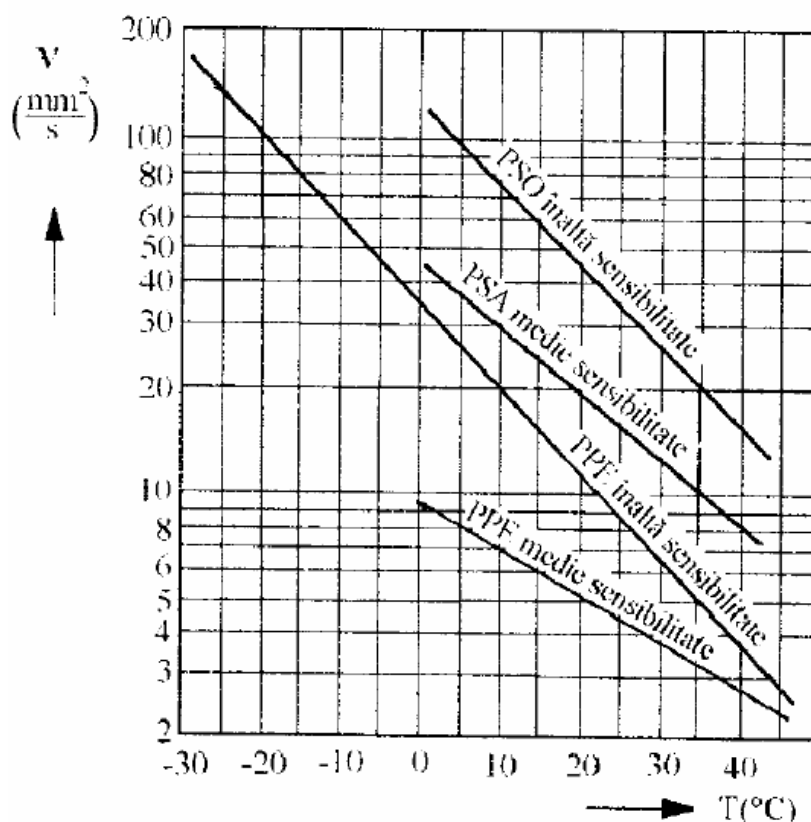


Fig 5. Variația vâscozității cinematice a lichidelor penetrante cu temperatura.

Atât penetranții, cât și developanții trebuie să îndeplinescă condiția de a nu fi acide sau bazice, spre a evita reacții chimice cu materialul de bază. De asemenea, trebuie să prezinte un punct de inflamabilitate cât mai ridicat, și anume la cei folosiți pentru controlul la temperaturi normale de minimum 80 - 90°C. Astăzi se livrează în mod curent penetranți cu punct de inflamabilitate situat la 150°C, lipsiți de halogeni și sulf. Calitatea substanțelor întrebuințate se verifică după reguli precizate în [30], atât la recepție, cât și în timpul folosirii lor.

La controlul oțelurilor inoxidabile austenitice, respectiv a aliajelor de nichel, este obligatorie limitarea conținutului de sulf și de halogeni a penetranților și developanților la 0,5% [1].

Conținuturi de halogeni peste această limită și mai ales în clor, pot cauza coroziunea sub tensiune a metalelor respective. Conținuturile mari de sulf sunt dăunătoare în special oțelurilor aliate cu nichel, putând cauza reacții cu eliberare de hidrogen, ceea ce provoacă mărirea susceptibilității la fragilizare.

## 5. MECANISMUL FORMĂRII ZONEI INSOLUBILE ȘI A PENETRANTULUI CAPTIV

După pătrunderea prin mecanismul de capilaritate a lichidului penetrant în discontinuitățile superficiale, urmează operația de spălare și îndepărtare de pe suprafața piesei a surplusului de penetrant, iar în cazul penetranților cu postemulsificare, depunerea agentului emulgator. În aceste condiții, dacă se analizează efectele produse în interiorul discontinuității se constată formarea a trei zone distincte prezentate în figura 6.

Zona (a) de pătrundere a lichidului penetrant prin capilaritate, zona (b) de infiltrare a agentului emulgator care reacționează cu penetrantul pe o anumită adâncime, în care se produce și difuzia penetrantului în emulgator, și zona (c) de pătrundere a apei provenite de la spălarea excesului de penetrant solubil în apă în care este inclusă și o subzonă de aglomerare a amestecurilor de substanțe. Zona de reacție a penetrantului captiv cu lichidul de postemulsionează formează zona insolubilă.

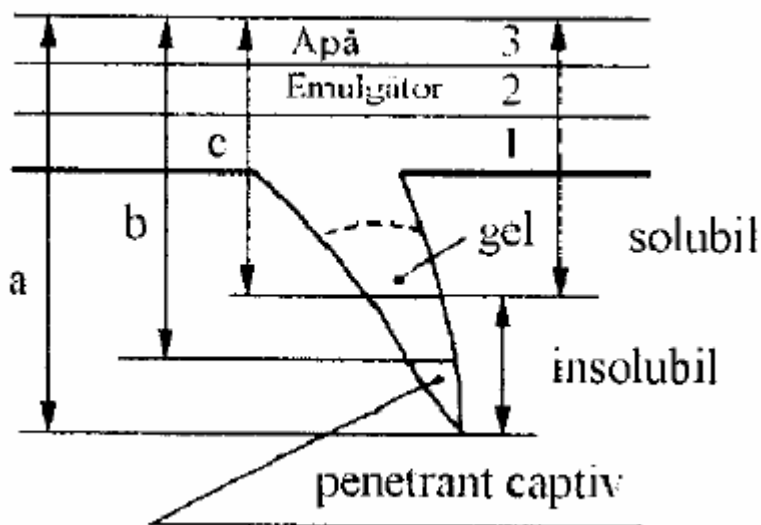


Fig. 6. Zone distincte formate la suprafața și în interiorul unei discontinuități examinate cu lichide penetrante cu post-emulsionează;

Formarea și stabilitatea zonei insolubile este esențială pentru metoda de examinare cu lichide penetrante, deoarece în lipsa ei nu s-ar mai putea obține indicații de defect prin mecanismul de absorbție a penetrantului captiv de către dezvoltant. Extinderea sau grosimea stratului lichid al penetrantului captiv și a zonei insolubile este considerat ca unul din parametrii de performanță. Ea depinde de raportul dintre vâscozitatea penetrantului și indicele de emulsificare.

Rezultă că penetranții greu emulsificabili având indicele de emulsificare  $1 \div 1,1$  sunt cei mai eficienți. Dintre aceștia fac parte penetranții conținând rășini macromoleculare siliconice, poliesterice sau vinilice, precum și cei care conțin alchilfenoli și derivați ai acestora.

În cazul penetranților conținând agent emulsificabil, folosiți cel mai frecvent în tehnicile de control, extinderea zonei de penetrant captiv în discontinuitate, figura 7, depinde de intensitatea procesului de difuzie a solventului în cazul întrebuințării de penetrant solubil în solvent organic (figura 7a), respectiv de gradul procesului de difuzie a apei, dacă pentru penetrare se întrebuințează penetrant solubil în apă (figura 7b).

Pentranții sub formă de spray-uri conțin și inhibitori de dizolvare în substanțele fotosite la spălare - îndepărtare a excesului de penetrant cu solvenți organici. Acest lucru se realizează prin utilizarea unui solvent slab și prin utilizarea unor soluții mutual miscibile.

Pentranții sub formă de spray-uri solubili în apă folosesc pentru micșorarea solubilității modificarea sinergică a raportului hidrofilice/lipofilice, prin reducerea componentei hidrofilice, micșorarea solubilității prin evaporarea solventului sau/și prin mărirea cantității de gel.



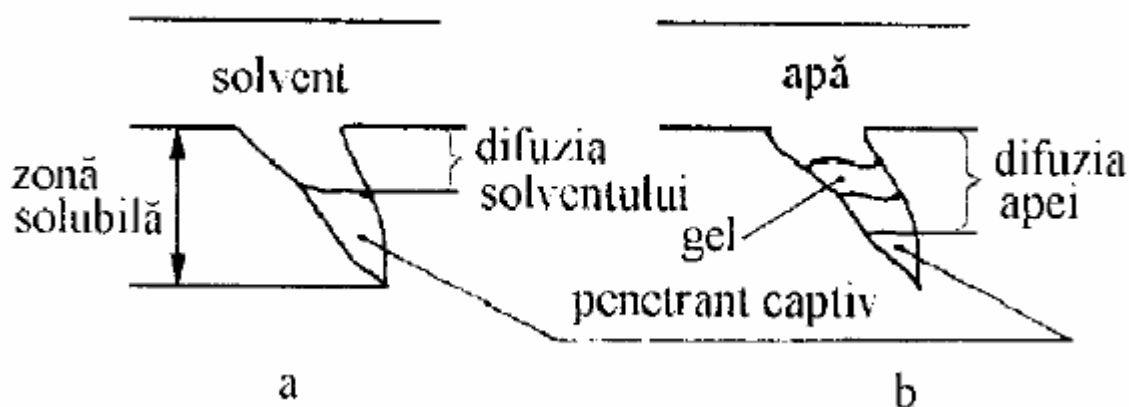


Fig. 7. Formarea zonei de penetrant captiv la examinarea cu penetranți autoemulsificabili:  
a. - solubili în solvent organic;  
b. - solubili în apă;

## 6. MECANISMUL DE DEVELOPARE A PENETRANTULUI

Lichidul penetrant rămas în discontinuități după îndepărtarea excesului de pe suprafața piesei examinate trebuie absorbit la suprafață pentru a obține prin contrast de culoare sau contrast fluorescent, indicația de defect. Acest rol îl îndeplinește developantul, care asigură următoarele funcții (figura 8):

1. absorbția restului de penetrant captiv în discontinuități;
2. fixarea penetrantului și lățirea indicației pe măsura măririi grosimii stratului;
3. formarea și îmbunătățirea contrastului dintre penetrant și developant.

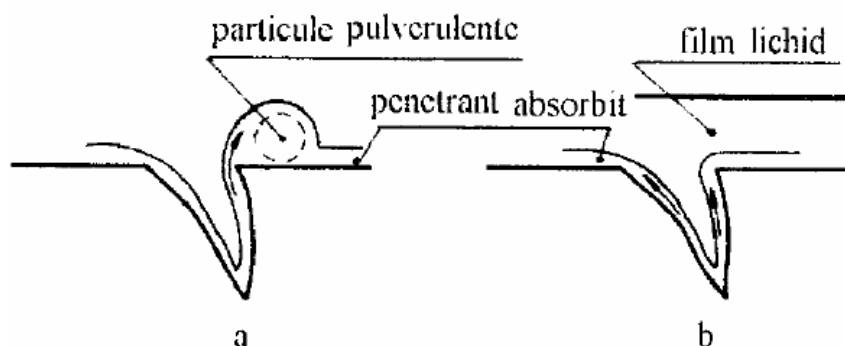


Fig. 8 Developarea penetrantului:  
a. cu developant conținând particule pulverulente;  
b. cu developant lichid;

Pentru ca absorbția să albă loc, presiunea de absorbție trebuie să depășească presiunea capilară cu o cantitate necesară punerii în mișcare a lichidului. Presiunea de adeziune a penetrantului la developant  $p_D$  poate fi exprimată de relația presiunii capilare:

$$p_D = K_D \cdot \tau_{LS} \cdot \cos \theta_D / d_D \quad (9)$$

unde  $d_D$  este diametrul particulelor developantului. Admitând o formă sferică  $K_D = \pi \cdot d_D$  și ca urmare:

$$p_D = \pi \cdot \tau_{LS} \cdot \cos \theta_D \quad (10)$$

de unde se concluzionează că acțiunea developantului depinde de unghiul său de contact  $\theta_D$  cu materialul examinat. Cum presiunea de adeziune trebuie să fie cât mai mare ca penetrantul să exudă din discontinuitate, este necesar ca  $\theta_D < \theta$ , iar  $\tau_{LD} > \tau_{LS}$ .

Scriind relația:

$$\tau_{LS}(1 + \cos\theta_D) = \tau_{LS} \cos\theta_D \cdot ds/dh \quad (11)$$

rezultă:

$$(1 + \cos\theta_D)/\cos\theta_D = ds/dh - K_D = \pi d_D \quad (12)$$

Punând condiția  $\theta_D = 0^\circ$  se obține diametrul optim al particulelor developantului:

$$d_D = 2/\pi \cong 0,6 \mu m \quad (13)$$

Experimentări comparative cu diferite substanțe developante au scos în evidență performanțele developanților cu silicați pirolitici sub formă de particule sferice neporoase, de dimensiuni submicroscopice, care absorb cantități foarte mici de lichid penetrant pe întreaga suprafață exterioară a acestor particule.

Acțiunea de absorbție a penetrantului captiv din discontinuități a căror suprafață interioară este acoperită cu o crustă având o energie superficială apropiată sau mai mare decât a developantului, de exemplu stratul de penetrant neîndepărtat provenit de la o examinare anterioară, este mult diminuată. Presiunea acestei cruste la care se adaugă presiunea capilară pot să excedă presiunea developantului blocând formarea indicației de defect. În același fel influențează suprafețele oxidate, carburate sau nitrurate, deși după cum s-a văzut factorii respectivi facilitează infiltrarea penetrantului.

## 7. CARACTERISTICILE DEVELOPANTULUI

Developanții sunt de trei feluri:

- developanți pulbere uscată care se aplică prin pulverizare;
- developanți suspensie în apă sau în solvenți;
- developanți de soluții apoase.

Cel mai frecvent sunt utilizați developanții de suspensie în solvent clorurat, cu toate că developanții pulbere uscată oferă o sensibilitate superioară de detectare a discontinuităților [6]. Toti developanții obișnuiți au o rezistență foarte mică la spălare, ceea ce reclamă mînuirea îngrijită a piesei înainte de observarea discontinuităților și interpretare.

Developanții trebuie să asigure pe cât posibil modificarea proprietăților de absorbție într-un timp relativ scurt [1], pentru a inhiba lățirea exagerată a indicației de discontinuitate și a o contura în consecință cât mai exact. Trebuie să asigure totodată contrastul pe alb, să posede o densitate corespunzătoare și o distribuție uniformă a particulelor în suspensie, precum și rezistență la contaminarea cu penetranți.

În funcție de concentrația developantului, strălucirea penetrantului absorbit crește exponențial în domeniul  $10 \div 1000 \text{ Cd/m}^2$ , [11].

## 8. TEHNOLOGIA CONTROLULUI

Controlul cu lichide penetrante presupune parcurgerea unei succesiuni de operații relativ simple de a căror acuratețe însă depinde rezultatul și mai ales capacitatea de interpretare a indicațiilor de discontinuitate (defect).

### 8.1. Curățirea suprafeței. Surse de contaminare a indicațiilor

Sursele de contaminare a suprafeței piesei la examinarea cu lichide penetrante sunt:

- a) prezența stratului de substanță organică - ulei, grăsimi;

- b) straturi protectoare de vopsea;
- c) pelicula de apă sau condens;
- d) crustă de oxizi, exfolieri, zgură;
- e) resturi active de acizi sau baze;
- f) resturi de lichide penetrante rămase din examinări anterioare;
- g) tratamente superficiale de fosfatare, cromare, brunare etc.;
- b) suprafețe reliefate și/sau având o rugozitate excesivă.

Efectele constau în acoperirea discontinuităților, în cazul surselor de sub b, d și g, reducerea conclundenței indicațiilor de discontinuitate, în cazul surselor c și e, micșorarea efectului de fluorescență în cazul surselor de tip e, falsificarea efectului menționat în cazul surselor de tip a, obținerea unor indicații false, în cazul surselor d și h, etc. Prezența apei în discontinuități provoacă mărirea tensiunii superficiale și prin aceasta reducerea capacității de infiltrare a penetrantului. Același efect este produs în prezența lichidelor post-emulsificatoare neîndepărtate corespunzător.

Suprafața de contact trebuie să fie uscată și curățită de oxizi, zgură, nisip, șpan, grăsimi, uleiuri, vopsea și alte impurități. Suprafețele oxidate cu zgură sau nisip favorizează indicațiile false. Suprafețele acoperite cu grăsimi, uleiuri, vopsele nu permit sau îngreunează pătrunderea penetrantului în defecte, iar suprafețele umede diluează lichidul penetrant. Controlul este neconcludent dacă suprafața de examinare nu este uniformă și prezintă oxizi, exfolieri, rizuri etc. [28]. În vederea prevenirii închiderii discontinuităților se recomandă evitarea curățirii mecanice și sablarea.

Metodele cele mai propice de curățire sunt:

- insuflarea cu aer sub presiune, și/sau
- spălarea cu jet de apă pentru îndepărtarea impurităților mecanice;
- spălarea cu solvenți organici pentru îndepărtarea impurităților organice (grăsimi, uleiuri, vopsele);
- spălarea cu detergenți, care nu reacționează cu materialul controlat, pentru îndepărtarea impurităților organice;
- decaparea cu baze încălzite sau acizi; această operație se va evita în cazul controlului cu penetranți fluorescenți, întrucât soluțiile decapante influențează luminiscenta.

După spălare se recomandă uscarea suprafețelor cu jet de aer cald, deoarece solvenții rămași în discontinuități obturează, respectiv influențează pătrunderea penetrantului. Firmele furnizoare livrează de obicei seturi de flacoane, care pe lângă penetranți și dezvoltanți conțin și solvenții necesari pentru spălare - degresare.

## 8.2. Aplicarea penetrantului

Penetrantul poate fi aplicat prin pulverizare mecanică la înaltă presiune cu aer comprimat sau cu spray-uri, imersare cu pensula sau prin pulverizare electrostatică.

Prima metodă este cea mai economică și asigură o depunere uniformă. Pulverizarea electrostatică asigură cel mai subțire film de penetrant, ceea ce determină o acuratețe superioară în aplicarea metodei. Temperatura suprafeței trebuie să fie de minimum  $5 \div 15^\circ\text{C}$ . Sensibilitatea examinării poate fi mărită dacă suprafața este încălzită la cel mult  $50 \div 60^\circ\text{C}$ , întrucât discontinuitățile se dilată, iar presiunea din interiorul lor scade, favorizând capilaritatea.

Dacă temperatura suprafeței controlate este cuprinsă în intervalul  $5 \div 15^\circ\text{C}$ , durata de pătrundere trebuie să crească de 2 - 3 ori, în cazuri punctuale se reglează tehnologia potrivit indicațiilor de la paragraful 9. Controlul la temperaturi sub  $5^\circ\text{C}$  trebuie evitat, [28].

Piese de controlat se vor poziționa astfel încât să se minimizeze scurgerile.

**Timpul de penetrare** este în funcție de: calitatea penetrantului, materialul examinat și temperatură, iar la temperatura ambiantă este cuprins în general **între 5 și 20 de minute**. La materialele plastice, ceramice, sticlă, timpul de penetrare este la limita inferioară: la materialele

metalice, piese turnate, forjate sau laminate, la limita superioară. În cazul oțelurilor austenitice crom-nichel, timpul de penetrare va fi de  $1 \div 2$  ore.

Penetranții cu postemulsionare folosesc două tipuri de agenți emulgatori, care fac posibilă îndepărtarea ulterioară a excesului de penetrant de pe suprafața controlată și anume: emulgator hidrofil, pe bază de apă și/sau emulgator lipofil, pe baza de ulei. Emulgatorii lipofili difuzează în penetrantul pe bază de solvent organic. Viteza de difuzie este funcție de vâscozitate. Emulgatorii cu o vâscozitate ridicată, încadrată în limitele  $60 \div 100$  cSt, au nevoie de o durată de difuzie de cea. 3 - 4 min.

Emulgatorii de mică vâscozitate cuprinsă în limitele  $30 \div 50$  cSt, necesită durate de difuzie de până la cel mult 2 min.

Emulgatorii hidrofilici practic difuzează ne semnificativ în penetrant. Moleculele de detergent ale acestora acționează la suprafața piesei curățind progresiv prin acțiunea lor cinetică. Eficiența reacției este ridicată, ca urmare durata de penetrare foarte mică. Diluția în apă este de aproximativ  $1 \div 250$ .

Emulgatorii se aplică după durata de penetrare peste pelicula de penetrant.

### 8.3. Îndepărtarea excesului de penetrant

Îndepărtarea stratului de penetrant în exces este o operație delicată, deoarece o spălare intensă conduce la scoaterea penetrantului din discontinuități falsificând rezultatul controlului, pe câtă vreme o spălare insuficientă face să rămână penetrant pe suprafață. Penetranții solubili în apă și cei cu postemulsionare **se îndepărtează cu apă, prin clătire ușoară sau pulverizare oblică**, până la dispariția fondului colorat sau fluorescent. Se recomandă folosirea apei calde de maximum  $50^{\circ}\text{C}$  și ștergerea prin tamponare curată fără scame.

Penetranții solubili în solvenți organici se îndepărtează prin operații succesive de ștergere cu tampoane curate. Suprafața se usucă prin evaporare naturală sau accelerată prin insuflare de aer cald.

### 8.4. Aplicarea developantului

Developanții pulbere se aplică prin presărare, pulverizare sau electrostatic, urmărindu-se obținerea unui strat cât mai fin și mai uniform. **Developanții suspensie** se aplică prin pulverizare, imersare sau cu pensula. Se atrage atenția asupra faptului că depunerea unor straturi prea groase poate prejudicia procesul de developare în special în cazul discontinuităților foarte mici. Înainte de aplicare se recomandă agitarea pentru uniformizarea conținutului.

**Timpul de developare este aproximativ 50% din timpul prescris pentru penetrare**, fiind indicat, ca și timpul de penetrare, de către firma producătoare. În cazul în care se dorește fixarea imaginii prin fotografiere, se recomandă folosirea unui developant special, rezistent la spălare. Dacă developantul nu este solubil în apă suprafața trebuie bine curățită și uscată, operație care se consideră la fel de importantă în aplicarea unei tehnologii de calitate. Pentru a nu diminua fluorescența penetrantului absorbit, temperatura de uscare nu va depăși  $60^{\circ}\text{C}$ .

### 8.5. Examinarea suprafețelor și interpretarea indicațiilor

Examinarea suprafeței trebuie să înceapă **din momentul aplicării developantului** pentru a se evita indicațiile neconcludente datorate unei absorbții excesive a penetrantului la suprafața piesei. Totodată, trebuie excluse indicațiile false de defect provenite, fie din lipsa de experiență, fie din neglijență în aplicarea corectă a tehnologiei. În caz de dubiu, suprafața trebuie spălată cu grijă și se repetă întregul ciclu.

#### 8.5.1. Condiții de iluminare și de adaptare

Suprafețele controlate cu **penetranți colorați** se examinează în lumină difuză, asigurându-se o iluminare de 300 - 500 lx, prin folosirea unui tub fluorescent de 80 - 100 W la distanță de cca. 1 m. În cazuri speciale iluminarea poate ajunge la 1000 lx.

Suprafețele controlate cu **penetranți fluorescenți** se examinează în lumină ultravioletă sau lumină neagră de lungime de undă 320 - 400 nm în încăperi slab luminate sau întunecate. Sursele de lumină neagră sunt: lampa incandescentă, lampa fluorescentă, lampa cu arc metalic sau de carbon și lampa cu vapori de mercur, cel mai frecvent folosită. Masa de examinare și fondul trebuie să fie de culoare neagră.

Iluminarea obișnuită este de 10 - 20 lx și rareori între 30 lx [28]. Valorile indicate oferă cel mai favorabil raport al luminiscenței penetrantului fluorescent. Examinarea în lumină ultravioletă nu pune probleme deosebite de protecție, totuși, dacă durata contactului cu lumina ultravioletă este de câteva ore, partea expusă trebuie protejată cu mănuși sau prin ungere cu cremă.

Eliminarea factorilor subiectivi umani la examinarea suprafeței controlate și la interpretarea defectelor impune respectarea următoarelor reguli referitoare la condițiile de control și de observare vizuală:

- timpul de adaptare la controlul cu penetranți fluorescenți în încăperi întunecate trebuie să fie de cel puțin 10 minute;
- distanța de examinare se recomandă să fie 0,4 - 0,5 m;
- cel puțin un ochi trebuie să asigure o vedere normală în câmp apropiat, apreciată la valoarea 1,0 cu ajutorul ortotipului și o valoare de minimum 0,8 în câmp mijlociu (0,4 - 5 m) și îndepărtat, [24];
- anomaliile de distingere a culorii determinate la anomaloscop trebuie să se încadreze, după [25], în limitele  $1,4 > A_c > 0,7$ ;
- capacitatea de adaptare la întuneric, capacitatea de menținere a acuității vizuale fără oboseală prematură, precum și sensibilitatea la orbire trebuie să se situeze la niveluri normale.

Instrucțiuni de lucru pt controlul cu lichide penetrante conform standard EN 571. Prezentele instrucțiuni se referă la sudura circulară în teavă Ø89 x 3 mm material oțel. Lampa cu lumină albă – la nevoie. Luxmetru. Materiale: Spray penetrant roșu, solubil în apă, Spray penetrant removal, Spray dezvoltant. Temperatura de lucru va fi între 15 - 40°C. Se va verifica starea suprafeței, care va trebui să fie curată și uscată, lipsită de zgură, rugina, stropi de sudură, creștături sau zgărieturi, ulei, grăsimi, murdărie, vopsea etc. În caz contrar suprafața va fi curățată în mod corespunzător folosind mijloace mecanice sau chimice. Curățirea va trebui să fie efectuată atât pe sudură cât și 50 mm de o parte și de alta a sudurii. Se va efectua și inspecția vizuală preliminară pt a observa. După curățarea suprafeței va trebui să fie uscată. În situația în care temperatura nu este în limitele de mai sus, va fi efectuat test pentru verificarea eficacității penetrantului la temperatura de lucru. Examinarea va fi efectuată la lumina zilei. Se verifică iluminarea la nivelul suprafeței de examinat iar în cazul în care este sub 500 lx va fi folosită o lampa cu lumină albă auxiliară, la o distanță potrivită în așa fel încât iluminarea să fie de cel puțin 500 lx. Se va identifica în mod corespunzător sudura notându-se poziția sudurii și a defectelor. Se va agita tubul de penetrant și se va aplica un strat suficient de penetrant pe sudură și în ZIT, având în vedere că să fie complet acoperită toată zona de interes. Se va aștepta timpul de penetrare urmărind că nu se usucă penetrantul, mai ales în cazul temperaturilor ridicate și nici să nu se scurgă de pe piesă. Dacă este necesar va fi aplicat un nou strat de penetrant, fără a fi necesară prelungirea timpului de penetrare. Odată încheiat timpul de penetrare, va fi îndepărtat excesul de penetrant cu o carpa curată, apoi va fi utilizată o altă carpa curată, umezită în apă sau în pe care s-a sprayat solventul, până când va fi îndepărtat complet excesul de penetrant și piesa nu va prezenta nici o urmă vizibilă de penetrant. Timpul de îndepărtare a excesului de penetrant nu trebuie să fie exagerat de mare pentru a se evita uscarea penetrantului din discontinuități. Acest lucru va fi avut în vedere în momentul în care se vor inspecta mai multe suduri în același timp. Odată excesul de penetrant îndepărtat se va aplica prin pulverizare un strat uniform și subțire de dezvoltant de la o distanță de ~ 20 cm. În prealabil chiar înainte de aplicarea dezvoltantului acesta va fi energic agitat pentru a fi omogenizat.

suspensia. Suprafata va fi inspectata preliminar ,chiar dintimpul uscarii developantului , pentru a observa momentul aparitiei indicatiilor si forma acestora- incazul discontinuitatilor cu deschidere mare la suprafata.Timpul de developare va incepe imediat dupa uscarea developantului.Dupa trecerea timpului de developare va fi efectuata interpretarea finala notandu-se pozitia, tipul( liniar, rotunjit, grupat ) si dimensiunile indicatiilor relevante.Evaluarea finala si incadrarea in criteriile de acceptabilitate va fi efectuata de operator nivelul 2.Discontinuitatile neacceptabile vor fi marcate cu marker permanent in vederea repararii ulterioare.In legatura cu timpul de penetrare si cel de developare , tipic acestea sunt ~ 10 min penetrare si 20 min developare insa vor fi respectate indicatiile producatorului cu prioritate.Pe langa datele privind discontinuitatile , in vederea emiterii buletinului vor fi inregistrate id-ul sudurii,dimensiunea, material,starea suprafetei, faza de fabricatie, tpul penetrantului folosit, producatorul ,lotul de fabricatie, data si locul testului , numele si semnatura operatorului.Daca se cere in specificatia produsului, se va proceda la curatarea post inspectie pentru a indepartadevelopantul de pe piesa

### 8.5.2. Indicații de discontinuitate

Prezenta unei cantități de penetrant pe fondul developantului indică posibilitatea existenței unei discontinuități, figura 9.

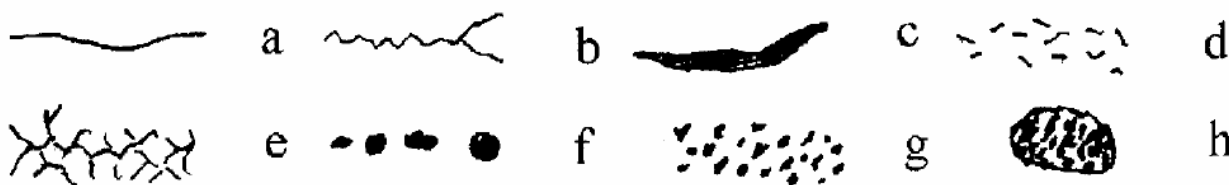


Fig. 9. Tipuri de indicații relevante pentru caracterizarea naturii discontinuităților

Indicațiile relevante se grupează în două categorii:

- indicații liniare;
- indicații rotunde sau eliptice;

Defectele liniare, cum sunt unele fisuri, suprapunerile și lipsa de pătrundere, apar sub formă de linie continuă, care se lățește în timp (figura 9a și c). Fisurile termice fine apar sub formă de linie ramificată (figura 9b). Fisurile foarte fine, de oboseală, fisurile la rece, apar sub formă de linie fină continuă sau întreruptă (figura 9a).

Fisurile provenite în urma polizării apar scurte și grupate pe o suprafață mică (figura 9d). Fisurile determinate de fenomenul de coroziune sub tensiune sunt grupate formând o rețea (figura 9e). Porii apar sub formă de puncte (figura 9f), grupare de puncte (figura 9g), sub formă de cuib (figura 9h) sau tentă de culoare. Discontinuitățile superficiale larg deschise sunt dificil de decelat pentru că în aceste cazuri fenomenul de capilaritate este estompat, obținându-se tente și nuanțe de culoare. Mărimea discontinuității poate fi aproximată numai imediat după aplicarea developantului, recomandându-se însă evaluarea după curățirea piesei. Culoarea contrastului este în legătură cu adâncimea și deschiderea discontinuității. Un contrast de roșu închis indică prezența unei discontinuități adânci și mai larg deschise.

Dimpotrivă, un contrast de roșu spălăcit, indică o discontinuitate superficială, fină.

După marcarea poziției discontinuității urmează examinarea vizuală în vederea stabilirii naturii sale, iar apoi curățirea suprafețelor de penetrant și developant.

Examinarea vizuală este necesară și pentru evitarea interpretării eronate a unor indicații false provenite dintr-o aplicare necorespunzătoare a tehnologiei de curățire a suprafeței și de relevare.

### 8.5.3. Influența prelucrărilor mecanice asupra indicațiilor de discontinuitate

Prelucrările mecanice de suprafață exercită un rol deosebit la controlul cu lichide penetrante. Influența lor este diferită și depinde în cea mai mare măsură de felul materialului. Operația de

sablare cu nisip maschează unele indicații la oțelurile slab aliate pentru construcția de mașini. Urmările sunt însă mult mai grave la semifabricatele din titan unde există pericolul mascării totale a discontinuităților superficiale. Împroșcarea cu alicie maschează integral discontinuitățile, atât la oțelurile pentru construcții mecanice, cât și la titan.

Rectificarea cu piatră reduce din contrastul indicațiilor la oțelurile cu conținut mai scăzut de carbon și le maschează aproape total la cele destinate construcțiilor mecanice.

Șlefuirea cu hârtie abrazivă de granulație 100 - 180, maschează parțial discontinuitățile la semifabricate din aluminiu și reduce contrastul indicațiilor la oțeluri slab aliate pentru construcții mecanice.

## 9. SENSIBILITA EA METODEI

Sensibilitatea metodei de control cu lichide penetrante poate fi definită, în funcție de factorul de amplificare a deschiderii discontinuității:

$$f_m = \frac{l_i}{l_d} \quad (14)$$

unde  $l_i$  este lățimea indicației dezvoltate iar  $l_d$  la deschiderea reală a discontinuității, respectiv în funcție de factorul de amplificare a strălucirii indicației:

$$f_s = \frac{s_i}{s_f} \quad (15)$$

unde  $s_i$  este strălucirea indicației iar  $s_f$  este strălucirea fondului incintei de examinare.

Astfel, sensibilitatea geometrică este dată de relația:

$$s_g = \frac{f_m - 1}{f_m} \quad (16)$$

iar sensibilitatea optică, de relația:

$$s_0 = \frac{f_s - 1}{f_s} \quad (17)$$

Cum  $f_s > f_m$ , rezultă  $s_0 > s_g$ .

Sensibilitatea metodei de control cu lichide penetrante este suficientă pentru a putea detecta cu certitudine discontinuități cu deschideri de 0,1 - 5 mm. Folosind penetranți tixotropici de înaltă sensibilitate detectabilitatea poate ajunge până în domeniul 5 - 10  $\mu\text{m}$ . Dacă cantitatea de dezvoltant depusă pe suprafața de controlat este prea mare, este posibilă diluarea excesivă a penetrantului și ca urmare o lipsă de contrast. Indicațiile de culori deschise, improprie penetrantului, denotă o curățire necorespunzătoare a suprafeței sau o spălare excesivă a penetrantului. În cazul unor indicații neconcludente, zona respectivă se degresează și se supune din nou controlului. Dispersia în ce privește relevarea indicațiilor de defect datorită abaterilor tehnologice poate merge până la 40%. Sensibilități superioare se obțin cu ajutorul penetranților fluorescenți și în special cu penetranți tixotropici de înaltă sensibilitate, unde, în condiții speciale gradul de decelabilitate ajunge la 0,25  $\mu\text{m}$ , [22].

Conform standardelor actuale sunt definite patru nivele de sensibilitate: minimă, medie, înaltă și foarte înaltă.

Probabilitatea de detectare a fisurilor este funcție de adâncimea defectului și de starea de prelucrare a suprafeței. Diferențele de probabilitate de detectare a defectelor pe suprafețe neprelucrate și suprafețe prelucrate prin aşchiere sunt semnificative și în detrimentul suprafețelor neprelucrate pe tot intervalul 0 ÷ 5 mm, dar în același timp deosebit de pronunțate la discontinuitățile superficiale a căror adâncime nu depășește 1 - 2 mm.

Interpretarea corectă a naturii discontinuității presupune îndepărtarea developantului și examinarea locului defect cu lupa. Indicațiile relevante se măsoară și se marchează pe piesa examinată.

În cazul în care controlul se efectuează pe suprafețe având o temperatură în afara domeniului 15 - 50°C, este necesară etalonarea procedurii la temperatura respectivă. Etalonarea urmărește determinarea duratei de penetrare și developare, care să permită prin comparație obținerea unor indicații similare cu cele obținute la temperaturi normale. În acest scop se folosește corpul de control ASME [17], figura 10, din aliaj de aluminiu laminat de tip 2024, [17].

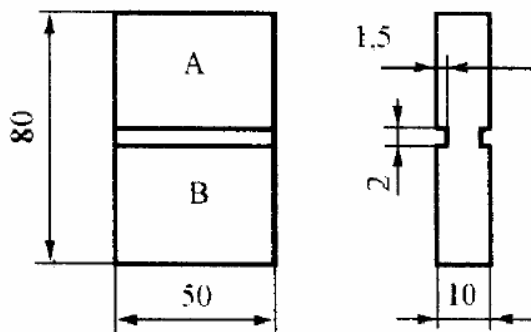


Fig 10. Bloc de comparație cu fisuri termice tip

Pe fiecare suprafață a corpului se va marca cu creion termocrom pentru 510°C o zonă de  $\varnothing 25$  mm. Cele două suprafețe se vor încălzi cu flacăra la 510 - 520°C, de pe partea opusă, după care piesa se va răci brusc în apă pentru a se genera fisuri. Apoi, se prelucrează canalul de 2 x 1,5 mm pentru a delimita zonele A și B. În continuare, corpul se va fotosi după cum urmează. Dacă temperatura suprafeței de examinat este peste 50°C, se încălzește zona B a corpului la temperatura respectivă și se aplică tehnologia de control. În paralel, zona A se controlează la temperatura de 15 ÷ 30°C. Dacă temperatura suprafeței de examinat este sub 15°C, se răcește zona B a corpului și soluțiile folosite la temperatura respectivă și se procedează în continuare ca în cazul precedent. Dacă, prin comparație, indicațiile de discontinuitate din zona A sunt similare cu cele din zona B, procedeul poate fi aplicat la temperatura respectivă în condiții identice.

Varianta superioară și totodată mai simplă pentru stabilirea sensibilității controlului cu lichide penetrante, [1], [2], constă în folosirea unei plăcuțe din oțel inoxidabil având dimensiunile de 120 x 25 x 3 mm, figura 11, cromată dur pe una din suprafețele rectificate, cu un strat de cca 150  $\mu$ m.

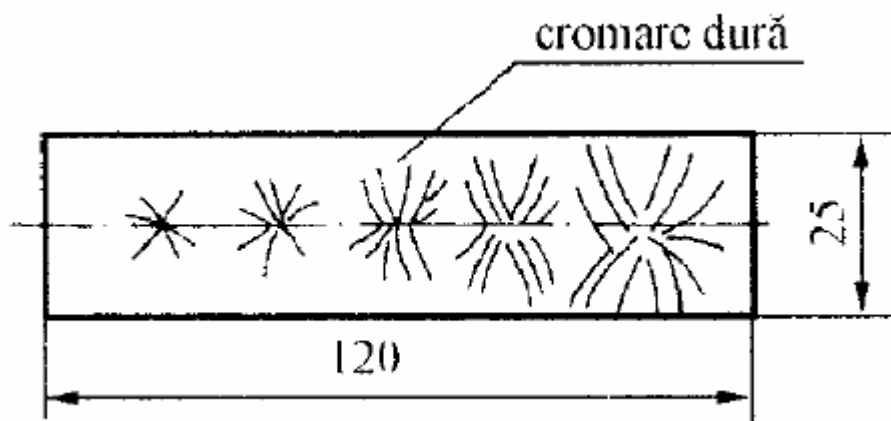


Fig 11. Plăcuță de comparație cu fisuri produse prin deformare plastică

Fisurile se amorsează prin deformarea plastică la rece a suprafeței cromate ca urmare a imprimării unei bile la aparatul de - duritate Brinell pe suprafața opusă celei cromate. În vederea obținerii unei variații de lățime și de lungime a fisurilor amorstate, imprimarea se efectuează cu sarcini diferite, și



anume: 2, 3, 4, 5 și 6 kN. Astfel, în zonele corespunzătoare de pe suprafața cromată se generează fisuri cu lățimea variind între  $1 \div 2 \mu\text{m}$  la nivelul sarcinii inferioare și  $8 \div 10 \mu\text{m}$  la sarcina maximă de imprimare. Orientativ, lățimea fisurilor poate fi măsurată la microscop la fiecare etalon, în vederea stabilirii cât mai precise a sensibilității metodei. Pentru determinări comparative sau concomitente se recomandă utilizarea unui etalon similar de lungime dublă (240 mm) cu două șiruri de imprimări dispuse simetric.

Etaloanele de control se folosesc de asemenea, la verificarea calității (omogenității) loturilor de penetranți sau la compararea diferitelor soluții.

După DIN [26] corpul de control necesar stabilirii sensibilității de lucru a sistemului de control este confectionat dintr-o placă de oțel inoxidabil de  $2,5 \times 50 \times 150 \text{ mm}$  prevăzută cu un orificiu de  $\varnothing 5 \text{ mm}$ , la distanța de 10 mm față de margine.

Placa este cromată dur pe o parte pe o lungime de 100 mm cu un strat de  $65 - 75 \mu\text{m}$ , duritatea ajungând la cca. 1000 HV. Cromarea are loc într-o baie semiacidă cu o densitate de curent de  $20 \text{ A/dm}^2$  timp de 3,5 ore. În vederea amorsării fisurilor pe suprafața cromată, pe suprafața opusă prelucrată la un  $R_a \approx 2,5 \mu\text{m}$ , se aplică 5 amprente Brinell cu penetrator de 5 mm la distanța de 20 mm. Amprentarea se realizează cu sarcini diferite, corpul fiind sprijinit pe partea cromată pe plăci inelare intermediare, cu orificii diferite conform datelor cuprinse în tabelul 1, [26]. Protejarea părții cromate se realizează cu o garnitură intermediară din cauciuc de 2 mm grosime.

Astfel se obțin fisuri în rețea de formă stelară având diametrul cuprins între cca. 1,5 și cca. 4,5 mm, conform datelor din tabel. Măsurarea deschiderii fisurilor se realizează în lumină ultravioletă de  $10 \pm 1 \text{ W/m}^2$ , într-un câmp luminos de  $50 \pm 20 \text{ lx}$ . Pe baza măsurătorilor se poate stabili clasa de sensibilitate.

**Tabelul 1**

Amprenta nr.	Diametrul orificiului de pe inelul de sprijin (mm)	Forța de amprentare (daN)	Diametrul zonei de fisuri (mm) $\pm 0,5 \text{ mm}$
1	7	170	1,6
2	6	200	2,3
3	5	280	2,8
4	4	450	3,5
5	3	510	4,4

Cercetări experimentale [14], folosind corpul de etalonare au pus în evidență influența exercitată pe de o parte de temperatură, iar pe de altă parte de lățimea fisurii asupra sensibilității controlului.

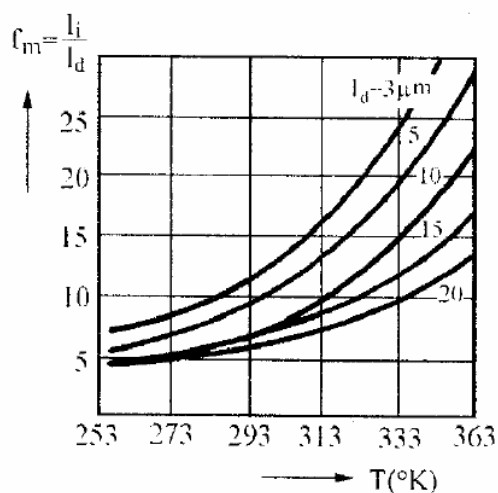


Fig. 12. Dependenta de temperatură a

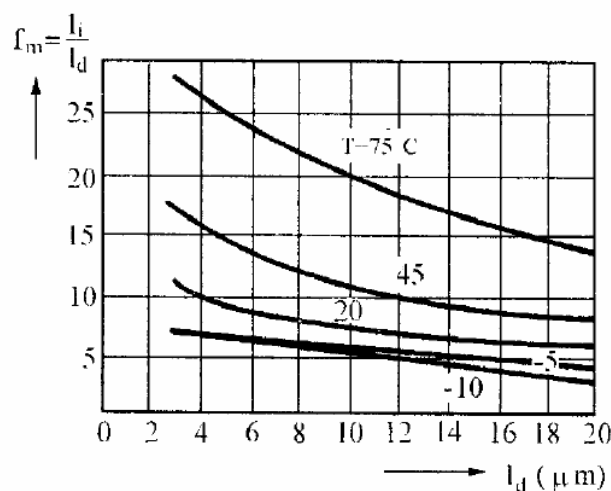


Fig. 13 Dependenta factorului de mărire a

factorului de mărire a fisurii;

fisurii de deschiderea (lăţimea) defectului;

Aşa cum rezultă din figura 12, se constată o dependenţă exponenţială a lui  $f_m$  în funcţie de temperatură. Ea este mai accentuată la temperaturi mai mari de  $20^{\circ}\text{C}$  şi cu atât mai substanţială cu cât discontinuitatea are o lăţime mai mică. Rezultatul este confirmat prin reprezentarea datelor într-un sistem de coordonate  $f_m - l_d$ , ilustrat în figura 13.

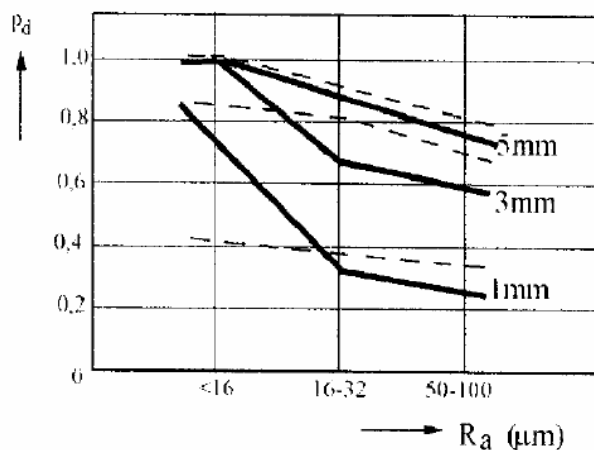


Fig. 13. Influenţa rugozităţii suprafeţii şi a adâncimii discontinuităţii asupra probabilităţii de detectare (linie plină: contrast culoare, linie întreruptă: contrast fluorescent)

Se evidenţiază astfel că, dacă în domeniul de temperaturi  $253 - 293^{\circ}\text{K}$ , factorul de mărire este cuprins între 5 şi 10, la temperaturi mai mari de  $50^{\circ}\text{C}$ , acesta variază în limite mult mai largi, cu valori situate între 10 şi 25. Pe de altă parte, rezultă că modificările cele mai mari ale factorului de mărire se înregistrează în cazul deschiderilor de fisuri fine, mai mici de  $10 \mu m$ , ceea ce este desigur benefic procesului de examinare.

Influenţa adâncimii discontinuităţii asupra sensibilităţii metodei ca şi asupra probabilităţii de detectare a fost studiată în [8]. Aşa cum rezultă şi din figura 14 prelucrată după [8] probabilitatea de detectare depinde atât de gradul de prelucrare a suprafeţii cât şi de adâncimea discontinuităţii. Se observă de exemplu că şi în cazul discontinuităţilor de adâncime 3 - 5 mm, probabilitatea de detectare este cel puţin dublă faţă de cea corespunzătoare adâncimilor sub 1 mm. Din punctul de vedere al gradului de rugozitate, exprimat prin mărimea medie a înălţimii micronegularităţilor  $R_a$  se relevă faptul că sub intervalul  $R_a = 16 - 32 \mu m$  are loc o modificare substanţială a pantei de variaţie a dependenţei mărime  $R_a$  - probabilitate de detectare, în sensul obţinerii unei relevanţe superioare.

## 9. PRELUCRAREA AUTOMATĂ A INDICAŢIILOR

Recunoaşterea optică a formei discontinuităţilor foloseşte o tehnică mixtă care are la bază folosirea unei camere video şi a unui calculator.

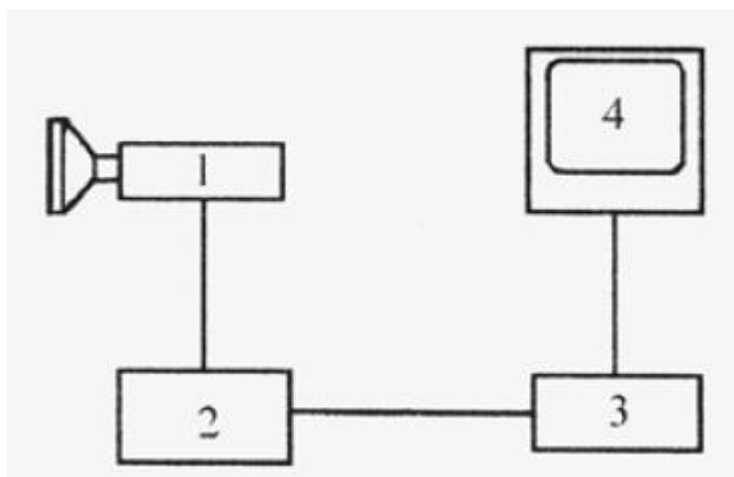


Fig. 15. Schema de achiziție a indicațiilor de defecte:

1. camera video; 2. convertor analog – digital; 3. unitate de stocare a imaginii; 4. calculator:

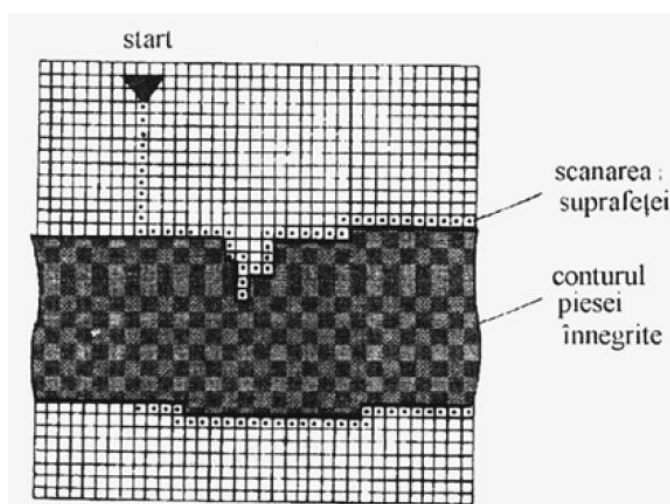


Fig 16. Principiul scanării suprafeței conturului piesei cu ajutorul calculatorului

O cameră CCD - tip matrice de achiziție are ca principiu reținerea unei imagini folosind o rețea dintr-un număr foarte mare de elemente fotosensibile. Cu ajutorul unui convertor analog-digital având o capacitate de stocare de  $512 \times 512$  puncte se obțin informații despre intensitatea luminoasă a suprafeței vizate de camera CCD corespunzător celor 262.144 fotocelule. Treptele de intensitate în număr de 255 departajează fin gradul de înnegrire de la 0 corespunzător negrului, la 255 pentru alb.

Schema instalației de urmărire și prelucrare - redare a indicațiilor preluate de pe suprafața examinată este prezentată în figura 15.

Calculatorul adresează fiecare unitate de memorie, citește informația alb/negru, analizează contururi, forme și distanțe, în câmp iluminat după principiul redat în figura 16. Astfel discontinuitatea (defectul) se poate măsura în puncte, care sunt convertite în unități de lungime. Gradul de rezoluție a sistemului depinde de densitatea pixelilor.

Contrastul imaginii discontinuității poate fi îmbunătățit dacă mișcarea camerei video în raport cu suprafața observată se realizează într-un câmp iluminat oblic la  $45^\circ$ . Având în vedere ca gradul de reflexie a stratului dezvoltator alb este foarte ridicat vor trebui folosite filtre de câmp negru sau de infraroșu, cu ajutorul cărora se obține o mărire substanțială a contrastului indicației utile.

## 11. APLICAȚII LA CONTROLUL ETANȘEITĂȚII

### 11.1. Condiții generale

Controlul etanșeității produselor în general este prescris prin norme de supraveghere tehnică și documentații de execuție la toate vasele, recipientele, conductele și instalațiile sub presiune sudate, nou construite sau repute în funcțiune, precum și periodic după o anumită durată de exploatare. Controlul se pretinde și altor categorii de produse la care circumstanțele de funcționare reclamă o verificare mai riguroasă a condiției de etanșare. El se execută în urma tratamentului termic și examinării nedistructive a îmbinărilor sudate. După încercarea la presiune-etanșare se interzice orice intervenție care ar putea influența materialul, rezistența sau etanșeitatea produsului. Având în vedere suprapresiunea de încercare, se recomandă un control nedistructiv final al îmbinărilor sudate, în special în zonele în care s-au efectuat remedieri, sau în locurile în care s-au relevat defecte.

La produsele deschise accesibile din ambele părți, se pot aplica în principiu două metode de încercare. Prima metodă constă în presurizarea uneia din părți și scăparea la presiune atmosferică. Cea de-a doua metodă constă în depresurizarea sau vidarea uneia din părți și examinarea scurgerilor în zona vidată.

## 11.2. Calculul scapărilor prin neetanșeități de tipul discontinuități - defecte

Pierderile prin neetanșeități de tipul orificiilor mici, denumite și scăpări sau scurgeri, pot fi calculate pe baza relației generale a debitului de scurgeri.

$$q_s = \mu \cdot \omega (2\Delta p / \rho)^{1/2} \quad (18)$$

în care:  $\mu$  reprezintă coeficientul de debit,  $\omega$  - secțiunea neetanșeității,  $\Delta p$  - diferența de presiune,  $\rho$  - densitatea mediului de scurgere. Coeficientul de debit variază în funcție de presiune și valoarea numărului Reynolds: valorile uzuale pentru orificii sunt cuprinse în intervalul  $\mu = 0,59 \div 0,64$ , iar pentru fante (fisuri) în limitele  $\mu = 0,66 - 0,78$ . Dacă se măsoară  $q_s$ , secțiunea de scurgeri se calculează cu relația:

$$\omega = \frac{q_s}{\mu \sqrt{2}} \cdot (\rho / \Delta p)^{-1/2} \quad (19)$$

În cazul gazelor care debușează prin orificii de secțiune  $\omega$  dintr-o incintă de secțiune  $\omega_0$  se recomandă folosirea relației:

$$q_s = \mu \cdot \omega (2\Delta p / \rho)^{1/2} \left[ 1 - (\mu \omega / \omega_0)^2 \right]^{1/2} \quad (20)$$

Cantitatea sau debitul de scurgeri se exprimă în subunități de debit propriu-zis,  $\text{cm}^3/\text{s}$  ( $\text{ml}/\text{s}$ ), sau în subunități de debit energetic, adică în  $\text{bar} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$ . De asemenea, el poate fi exprimat prin raportare la debitul de scurgeri calibrate printr-un dispozitiv, care furnizează un flux cunoscut de lichid sau gaz în condiții date de diferență de presiune, având ordinul de mărime al celui ce se verifică.

## 11.3. Determinarea scăpărilor admisibile

La stabilirea scăpărilor admisibile se iau în considerație, în ordine, după caz: pericolul de explozie, pericolul de incendiu, pericolul de intoxicație, precum și efectul economic al pierderii de medii. Calculul se face ținând seama de limitele concentrațiilor admise în aer după normativele în vigoare. Având concentrația admisă  $C_a$  (% volum aer), în vederea evitării fenomenelor menționate, volumul incintei în care se produc scăpările  $V$  ( $\text{m}^3$ ) și durata maximă între două controale  $\Delta t_{\max}(\text{s})$ , rezultă debitul admis de scăpări:

$$q_{sa} = \frac{V \cdot C_a \cdot 10^6}{c \cdot \Delta t_{\max}} \quad (21)$$

Valcarea coeficientului de siguranță  $c \geq 1$  se alege în funcție de gradul de periculozitate a scăpărilor, ecartul dintre limita inferioară și superioară de explozivitate, respectiv toxicitate, precum și de influența temperaturii și presiunii asupra acestor limite.

#### 11. 4. Particularități ale tehnicilor de control

La controlul etanșeității se folosesc în exclusivitate penetranți autoemulsificatori, dintre operațiile prevăzute la par. 2 fiind excluse îndepărtarea excesului de penetrant și postemulsionarea. La controlul etanșeității recipientelor și tubulaturilor cu acces de pe ambele părți se folosește tehnica examinării cu penetranți de contrast colorat, solubili în solvenți organici. Aplicarea penetrantului se efectuează cu pistol de stropit la presiune ridicată de  $100 \div 160$  bar de pe partea ce urmează să fie supusă la presiune (suprapresiune) iar aplicarea developantului pe partea opusă de joasă presiune.

Timpul de penetrare va fi de 10 - 30 minute, în cazul recipientelor cu pereți groși se recomandă aplicarea penetrantului în două - trei rate. Penetrantul fluorescent este recomandat numai la examinarea produselor de serie, unde observarea se poate realiza în spații întunecate în lumină ultravioletă. În cazuri deosebite se recomandă activarea penetrării cu ultrasunete.

Având în vedere că în timpul probei de suprapresiune a recipientelor, și presiunea capilară se modifică substanțial, facilitând astfel infiltrarea penetrantului, aplicarea developantului pe suprafața de examinare are loc în momentul atingerii presiunii de încercare.

Interpretarea indicațiilor în discontinuități sau defecte se face după criteriile descrise la par. 8.5.

Sensibilitatea de detectare a scăpărilor prin discontinuități și defecte cu lichide penetrante întrece cu două - trei ordine de mărime sensibilitatea asigurată la examinarea prin metoda imersiei, și poate ajunge la nivelul de  $10^{-5}$  bar·cm<sup>3</sup>/s.

#### 12. CONTROLUL CU PENETRANȚI GAZOȘI

Metoda a fost lansată cu deosebit succes la verificarea paletelor de turbină la suprafața cărora s-au manifestat fenomene de nucleere și de coalescență a microfisurilor încă din domeniul de solicitare la oboseală oligociclică [13].

Ca substanță de penetrare se folosește kriptonul, care spre deosebire de lichide, difuzează intens și nu poate fi absorbit de suprafețele umede. Astfel, kriptonul accesează ușor și rapid cele mai fine microfisuri și chiar rețeaua de oxizi. Potrivit teoriei cinetice coeficientul de difuzie este direct proporțional cu vâscozitatea și cu temperatura  $T^{3/2}$  și invers proporțional cu radicalul masei moleculare a gazului. Astfel, gazele reale au coeficienți de difuzie de  $0,1 \div 1$  cm<sup>2</sup>/s soluțiile lichide de  $10^4 \div 10^5$  ori mai mici, de aproximativ 1 cm<sup>2</sup>/24h.

Gazul folosit ca penetrant constă dintr-un amestec de 95% kripton inert, stabil,  $K_{78}^{36}$  și 5% kripton  $K_{86}^{36}$  care eliberează cuante de radiații beta și gama (două nivele energetice), având o perioadă de înjumătățire de 4,4 ore. După xenon este cel mai greu gaz inert, de 3,5 ori mai greu decât aerul, are numărul de masă 78 și se găsește în aer într-o concentrație de cca. 5 ori mai mică decât heliul. Diametrul atomului de kripton este puțin peste 0,1 nm. Sensibilitatea de detectare a microdiscontinuităților este foarte mare fiind cuprinsă în intervalul  $1 - 10^{-4}$  mm, interval învecinat la limita inferioară cu mărimea nucleelor de fisuri. Comparativ cu capacitatea de detectare a discontinuităților la controlul cu lichide penetrante, metoda cu kripton se situează la diferențe de până la trei ordine de mărime. Ca urmare metoda de control folosind ca penetrant amestecul de kripton se recomandă la examinarea microdiscontinuităților superficiale.

Operațiile de control cu kripton sunt asemănătoare celor utilizate la controlul cu lichide penetrante și se succed astfel, figura 17:

- curățirea mecanică și chimică a suprafeței supuse examinării;
- introducerea piesei într-o incintă de vacuum și vidarea ei. Vidarea asigură îndepărtarea aerului și, mai ales, accelerarea procesului de difuzie a moleculelor de kripton, atât ca transport, cât și ca durată, cunoscându-se faptul că gradul de difuzie a gazelor este invers proporțional cu presiunea;

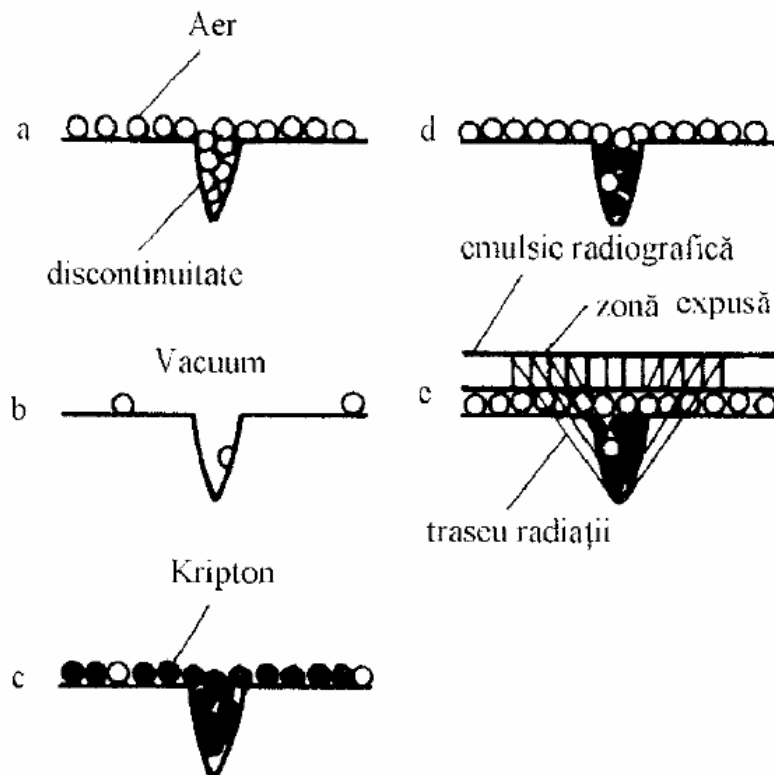


Fig. 17. Fazele controlului cu penetranți gazoși

c). expunerea piesei unui jet de amestec de kripton, care pătrunde prin greutate și prin proces de difuzie în cele mai fine discontinuități de la suprafață;

d). îndepărtarea amestecului de kripton prin admiterea aerului în incintă și refacerea presiunii. Kriptonul fiind mult mai greu decât aerul rămâne captiv în interiorul discontinuităților;

e). aplicarea prin pulverizare a unei pelicule de emulsie fotosensibilă utilizată la filmele radiografice ca strat absorbant, pe care amprenta discontinuității se imprimă sub formă înnegrită ca urmare a efectelor emisiei de radiații beta și gama din componenta  $K_{85}^{36}$ , blocată în interiorul discontinuității.

Având în vedere că depunerea unei pelicule omogene de grosime constantă reprezintă unul din factorii principali în obținerea rezultatelor scontate, finețea prelucrării suprafeței este esențială. Pelicula radiografică, purtând amprentele discontinuităților se desprinde de pe suprafața piesei ca un film și se evaluează cantitativ cu senzori electronici de măsurare. Datorită rapidității fenomenului de difuzie se elimină durata de penetrare necesară absorbției penetrantului la controlul cu lichide penetrante. Traseul particulelor beta și gama din  $Kr85$ , urmare a puterii de pătrundere prin material, excede conturul propriu-zis al discontinuității, astfel încât imaginea obținută pe pelicula de emulsie radiografică este dilatată de cca. 10 ori față de mărimea reală a discontinuității.

### 13. MĂSURI DE PROTECȚIE

În vederea eludării efectelor nocive asupra personalului de deservire se recomandă respectarea cu strictețe a unor măsuri minimale de protecție individuală și socială. Astfel, se va evita respirarea directă deasupra zonei de lucru, unde se degajă vapori ai diferitelor componente folosite. La un contact îndelungat se impune folosirea măștilor și filtrelor și întreținerea zonelor de piele expuse iritării cu cremă. Totodată se reclamă aerisirea intensivă a zonei de lucru și a încăperii. Cum în majoritatea tehnologiilor de control aplicarea componentelor de curățire, penetrare sau dezvoltare se realizează prin pulverizare, se recomandă evitarea contactului inutil cu pielea prin folosirea mănușilor și sorturilor precum și protejarea ochilor. Deoarece materialele de lucru sunt inflamabile,

toxice și otrăvitoare se interzice fumatul și degustarea în încăperea de lucru. De asemenea, datorită temperaturii de inflamabilitate coborâte, se interzice activitatea și depozitarea trusei de componente lângă surse de căldură și chiar expunerea la soare. Componenta cea mai periculoasă este curățătorul, mai ales dacă are la bază triclorețan sau triclorețilenă pură, datorită gradului ridicat de contaminare a apei, având influențe negative și asupra stratului de ozon. Se citează cu un litru de astfel de substanță este suficient să contamineze cca. 40 mil. litri de apă potabilă. Ca urmare, se recomandă folosirea curățătorilor pe bază de alcooli sau amestecuri, cu toate că sunt ușor inflamabili.

Cu excepția hidrocarburii amintite, îndepărtarea materialelor utilizate în cantități mai mici se face cu apă industrială întrucât ele sunt biodegradabile. În cazul controlului de serie, unde se folosesc cantități relativ mari de substanțe, reziduurile se trec prin site moleculare de ultrafiltrare.