

DETECȚIA AUTOMATĂ A DEFECTELOR ÎN CONTROLUL RADIOLOGIC AL ÎMBINĂRII SUDATE. METODE NOI MORFOLOGICE ȘI STRUCTURALE DE EXPLORARE A IMAGINII RADIOLOGICE

Aurel Marian

Ministerul Industriei și Comerțului

Rezumat: Particularitatea defectoscopiei radiologice a îmbinărilor sudate, caracterizată prin: dispersia mare a calității imaginii radiologice, absența datelor statistice pentru eșantionare, specific tehnologic și cerințe standardizate de control crește dificultatea elaborării unui sistem automat de detecție. Metoda morfologică și structurală prezentată ia în considerare aspecte datorate procesului tehnologic al sudurii, reflectate în imaginea radiologică, și permite elaborarea unei tehnici etapizate de detecție automată a elementelor de defect și, în final, realizarea unui sistem automat de defectoscopie radiologică.

Cuvinte cheie: recunoașterea formelor, defectoscopia radiologică, controlul îmbinării sudate, prelucrarea morfologică a imaginii.

1. Introducere

Controlul radiologic industrial utilizează două tehnici cu principii diferite de generare a radiațiilor penetrante: tehnica Röntgen sau tehnica cu surse de emisie radioactive în care se folosește, dintre fluxurile radiante emise α , β și γ , fluxul de radiații dure γ .

Tehnica roentgen este folosită în aplicații industriale, aproape în exclusivitate, datorită posibilității variației energetice a radiațiilor electromagnetice dure, emise de surse, în limitele foarte largi și la valori energetice, care nu pot fi atinse de sursele radioactive γ .

Defectoscopia sudurii țevilor rulate se bazează aproape în exclusivitate pe tehnologii radiologice și în special pe tehnici roentgen. Denivelarea suprafeței cordonului de sudură face dificilă examinarea ultrasonică, iar metodele controlului cu curenții turbionari (aplicate în verificarea sudurilor de topire rezistivă) nu decelează tipurile de defecte specifice sudurii; verificarea prin lichide penetrante sau cu heliu nu decelează decât fisuri pătrunse.

Controlul radiologic al sudurilor în cazul recipientilor și al conductelor de gaze, al produselor combustibile sau toxice este o operație obligatorie, de mare responsabilitate.

Această cerință precum și faptul că imaginea radiografică este de o calitate care depinde de o sumă de factori necontrolabili și aleatorii, impun prezența examinatorului uman.

Automatizarea controlului radiosopic este o problemă încă nerezolvată și puțin abordată în cercetări din domeniul recunoașterii formelor.

În cercetarea problematicii detecției automate, a defectelor de sudură într-o abordare complexă, am parcurs etape interesante și cu rezultate semnificative, în tratarea imaginii radiografice prin utilizarea transformatei wavelet ca și prin utilizarea unor rețele neuronale, specializate pentru extragerea conturilor.

Abordarea prin tehnici de prelucrare a imaginii morfologice și structurale este motivată de faptul că aceste tehnici sunt frecvent utilizate în procesarea imaginii, pentru extragerea caracteristicilor reprezentate prin petele cu diferite atribute ale formei, cu intensității de înnegrire, contrast, grupare. Relațiile dintre aceste atribute fiind de natură morfologică, operațiile morfologice sunt cele care permit definirea granițelor și constituirea zonelor de interes ale unei imagini. Pe de altă parte, tehnicile structurale permit constituirea claselor de obiecte (de defecte în cazul studiat).

2. Condiții generale

În standardul 8299-78 de clasificare și de vizualizare a defectelor îmbinărilor sudate sunt prezentate 18 tipuri (clase) de defecte incluse în 5 grupe care ne permit control radiologic vizual. Cu excepția unei clase de defecte din prima categorie și a unei clase din a doua, toate defectele sunt reprezentate de pete, mai mult sau mai puțin întunecate decât fondul imaginii, fie în zona cordonului de sudură, fie în zona metalului. Pe aceste caracteristici se bazează analiza morfologică a imaginii care se aplică în procesarea acesteia în etapele prezentate în continuare.

Este necesar a se evidenția următoarele particularități privind imaginile radiologice pentru defectoscopie:

- condițiile tehnologice în care au fost înregistrate filmele radiologice (filme aplicate direct pe cușătura în afara standului de probă în flux continuu) au condus la o dispersie extremă a calității imaginii în ce privește gradul de înnegrire general (fondul), nivelurile de zgomot, de variațiile luminozității;
- nu se urmărește, în cazul defectoscopiei, îmbunătățirea vizuală a imaginii prin reglarea luminozității, creșterii nivelului de contrast și

prin alte metode uzuale, acestea putând estompa și elimina “defectele” căutate;

- în acest sens metodele dezvoltate în experimente se bazează pe caracteristicile structurale statistice ale imaginii zonale sau generale (medii, variante) pe proprietățile locale ale semnalului vizual 2D (derivate locale).

3. Sursa de date

Filmele radiografice, preluate pentru prelucrare, sunt filme de imagini clasificate, care servesc pentru identificarea defectelor ca și pentru instruirea operatorilor.

Ele au fost structurate pe clase de defecte și au servit în analiză drept set de antrenare ca și de testare.

Prin natura caracteristicilor (trăsăturilor), eșantionale alese pot defini aproape în totalitate clasele de defecte din standardul prezentat; au fost parțial analizate cazurile pentru care standardul prevede controlul vizual în mod expres.

Filmele sunt furnizate și calificate pentru antrenare de firme specializate, în cazul dat suedeze și japoneze.

4. Prelucrarea imaginii

În prelucrarea imaginii, au fost respectate două principii:

- considerarea aspectului tehnologic al operației de sudură, respectiv, proprietățile definite ale zonelor imaginii în relația acestora cu operația sudurii (cordon, zonă afectată termic, zona metalului neafectată);
- etapizarea pe faze a procesării imaginii care corespunde zonelor și operațiilor de prelucrare.

5. Etapele de procesare a imaginii

5.1. Medierea imaginii

Se aplică o mediere a imaginii prin matricea zonală 3×3 prin care valoarea fiecărui pixel este înlocuit cu valoarea pixelului mediu. Prin aceasta se reduce nivelul de zgomot al imaginii și se permite tratarea ulterioară a imaginii cu matricei zonale de ordin redus. După mediere, vizual, imaginea nu prezintă diferențe ușor sesizabile.

Din șirul ordonat ai celor 9 pixeli din matricea $3 \times 3 [i,j]$ aplicată în pixelului analizat din imagine $P_{n,m}$

$$P_{ij}^1 \leq P_{ij}^2 \leq P_{ij}^3 \leq P_{ij}^4 \dots \leq P_{ij}^9$$

Se reține valoarea pixelului P_{ij}^5 din șirul ordonat, care va înlocui valoarea pixelului $P_{n,m}$

$$P_{n,m} = P_{ij}^5$$

Această filtrare face parte din clasa filtrelor ordonate cu formula generală:

$$P_{n,m} = R_K(P_{ij})$$

unde K este poziția în șirul ordonat după valoarea din șirul pixelilor ferestrei zonale analiză și care pot genera și filtrele de minim și maxim.

Filtrele de maxim și minim reduc lățimea histogramei ceea ce, prin repetarea aplicării filtrului poate duce la o histogramă de tip *delta*, adică o imagine binară.

Pe de altă parte, filtrul median menține contururile nete și elimină zgomotul granulat (de tip sare și piper).

Se va obține și o îngustare a histogramei deci micșorarea varianței imaginii.

5.2. Definirea zonei de cusătură

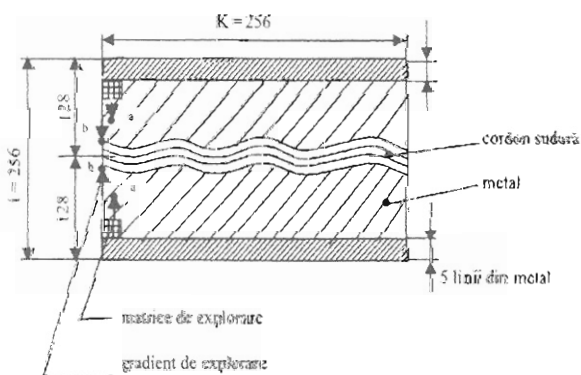
În aproape toate cazurile de defecte ale sudurii, acestea se situează în zona cordonului de sudură. Excepția o fac crăpăturile transversale și stelate, care se pot găsi și în zona metalului.

Pe de altă parte imaginea radiografică nu încadrează central și în raport predeterminat aria cordonului față de zona metalului prezentată. Aceste diferențe, inerente în aplicații practice ale procedurii imaginii, conduc la variații în ce privește caracteristicile statistice ale imaginii.

De asemenea, raportarea prin metode de corelație a unor zone analizate, la zona metalului de bază pot da în unele situații informații utile ca, de exemplu în definirea caracteristicilor petelor de defect ca “întunecate” și “mai puțin întunecate”.

Din aceste considerații separarea cordonului de sudură de restul imaginii este o etapă esențială și ea se desfășoară în următoarele etape:

a) caracterizarea metalului de bază



Se mediază primele 5 linii inferioare și superioare ale imaginii de $256 \times 256 [N \times N]$ pixeli prin valorile

$$M_{j(i)} = \frac{1}{5N} \sum_{i=1,5} P_{ik} \quad (i = 250 \dots 255)$$

$$K = 1 \dots N$$

b) Explorarea zonei metalului

Zona și valorile mediate $M_{j(i)}$ definesc caracteristicile legate de metal (grosime, material) și radiologie (parametrii instalației roentgen, timp de expunere, poziția sursei, caracteristicile filmului).

Se poate presupune că în apropierea acestei zone caracteristicile fotometrice ale imaginii sunt apropiate de valoarea mediat $M_{j(i)}$. Efectul termic al procesului de sudură va schimba aceste caracteristici în apropierea zonei de cusătură. Această prezumție a indus ideea de a explora pe sectoare zonale cele două jumătăți ale imaginii (de jos și de sus); zona fiind reprezentată de o matrice de $[N^2] = 5^2$.

S-a considerat ca reprezentativ pentru imagine caracteristica de varianță a zonelor. Varianța zonală a tonurilor de gri, în explorarea cu matricea de mediere este:

$$\sigma_{MK(i)}^2 = \frac{1}{i/2 - 5} \sum_{i=0}^{i=128} [P_i - \Delta P_{MK(i)}]^2$$

cu

$$\Delta P_{MK(i)} = \frac{1}{i/2 - 5} \sum M_{PKi}$$

M_{PKi} = valoarea medie a zonei definită de matrice pentru pixelul i din coloana K .

Apropierea explorării zonale spre cusătura continuă până când valoarea medie a pixelului curent:

M_{PKi} depășește un prag Dm

$M_{PKi} > Dm = \beta \sigma_{DM}$ cu β constantă pentru setul de imagini radiografiate

Astfel, se ajunge în zona (punctul a din figură) unde variațiile fotometrice sunt reprezentate mai accentuat. Din acest punct explorarea se face cu:

c) Analiza variației prin gradient

Se consideră o matrice coloană, de explorare cu coeficienți de gradient $[-2, -1, 0, 1, 2]^T$ și similar cu faza anterioară se face acordul cu caracteristica statistică, locală, a imaginii prin varianța gradientului pe coloana explorată k .

Astfel:

$$\sigma_{\Delta K}^2 = \frac{1}{i/2} \sum_{i=1}^{i=128} [\Delta i_K - \Delta im_K]^2$$

unde

Δi_K – gradientul local al pixelului P_{ik} definit cu matricea $[-2, -1, 0, 1, 2]^T$ de mai înainte

Δim_K – media gradientilor pe coloana K între $I = I \div 128$ (jos) și $I = 129 \div 26$ (sus).

Și, în acest caz procesul de căutare a punctului de sudură se oprește la depășirea pragului de

$\Delta i_K > \alpha \tau_{\Delta}$ unde α – constanta pentru setul de imagini radiografiate.

d) Trasarea cusăturii

În explorarea pe coloane se marchează pixelii care reprezintă cusătura orientați succesivi și adiacenți pe direcția orizontală. În general, este asigurată o reprezentare în care pixelii pe coloana alăturată se situează în intervalul $i \pm 1$; în cazul $i \pm 2$ se face o mediere pe două coloane astfel ca între colcanele K_n și K_{n+2} pixeli de contur să fie adiacenți.

În cazul unei imagini prost expuse (întunecată, fără contrast sau cu zgomot) pot apare elemente de contur neadiacent, pe o porțiune mai mare de două coloane.

În acest caz, se dezvoltă un con de explorat astfel ca pentru coloanele $K+1, K+2 \dots K+n$, să se accepte $i+1; i+2; \dots i+n$, până la includerea în intervalul $i+n$ a pixelului cu $i_k > i+n$ pe care se face mediere.

În figurile b, pe cele 6 tipuri (clase) de defecte, sunt prezentate imaginile cusăturii care reprezintă bine marginea cusăturii chiar în cazul unor imagini de slabă calitate.

5.3. Reprezentarea cordonului

Eliminarea zonei metalului permite concentrarea analizei imaginii pe cordonul de sudură.

O reprezentare a acestei faze este dată în figurile c.

5.4. Separarea zonelor de interes

Imaginea este reprezentată pe tonuri de gri prin 256 de niveluri cu nivelul de zero pentru negru și nivelul de 256 de alb. În prelucrări matriciale, se utilizează și prezentarea normalizată cu valori în domeniul $[0, 1]$.

Evident că, pentru căutarea unor imagini întunecate, nu interesează explorarea unor zone situate peste un anumit prag al luminozității.

Reprezentarea histogramei a imaginii unimodală sau multimodală, permite stabilirea nivelului de prag, care va defini pragul de “interes” pentru imaginea analizată.

Deci, va putea găsi un nivel al mărimii de prag prin care se va putea reține o imagine a mulțimilor de pixeli pentru care pentru imaginea B va avea

$$B_{ij} = \begin{cases} 1 & P_{ij} > T \\ 0 & \text{astfel} \end{cases}$$

În cazul unei imagini bimodale a histogramei, cele două zone reprezintă, sugestiv, probabilitatea de densitate pentru regiunile din fondul imaginii și cele din reprezentările de interes.

Metodele bazate pe conceptul egalizării entropiilor informaționale a posteriori consideră valoarea entropiilor informaționale de fundal H_b și de imagine H_w astfel ca după găsirea unei valori de prag t suma valorilor acestora să fie maximă.

$$H_{\max} = H_b(t) + H_w(t) \text{ considerând relațiile}$$

$$H_b(t) = - \sum_{i=0}^t P_i \ln P_i \text{ entropia de fundal}$$

$$H_w(t) = - \sum_{i=t+1}^{l-1} P_i \ln P_i \text{ entropia imaginii}$$

unde:

P_i este probabilitatea pentru intensitatea nivelului C al imaginii

$$P_i = f_i / N^2 - N^2 \text{ numărul total de pixeli}$$

Cu valoarea definită pentru t și eliminând valorile $P_i > T$ (pentru a reține zona de nivel întunecat a imaginii se obține imaginea de explorat prezentată în pozițiile d) din imagini.

5.5. Definirea punctelor de însămânțare

Există, în principal, două metode de evidențiere a defectelor (zonelor de interes) și, în general, de analiza morfologică a imaginilor:

- metodele de definire (descriere) a conturilor
- metoda de definire a zonelor căutate

Am tratat anterior două metode de evidențiere a conturilor. În general, aceste metode prin contururile obținute nu definesc topologic sau morfologic, în mod univoc, elementele de interes ale imaginii. Lipsesc informații privind relația topologică (interior/exterior, contururi incluse) și cea structurală (densitatea imaginii, uniformitatea acesteia).

În acest sens analiza prin definirea zonelor căutate este o metodă mai puternică și mai directă.

Trăsăturile, ca elemente caracteristice ale clasificării sunt definite ca pete ale zonei de interes prezentate înainte, care au drept caracteristici o uniformitate a nivelului de gri și o margine determinată de un prag de discontinuitate. O primă etapă este găsirea unor puncte caracteristice zonei căutate.

Pentru depistarea zonelor "netede" au fost aplicate două metode:

- Imaginea a fost baleiată pixel cu pixel de o matrice 5×5 cu calcularea mediei zonale și cu introducerea condiției ca pentru 85% din pixeli (adică 21 de pixeli) aceștia să nu aibă abateri mai mari de ± 5 nivele de gri față de media găsită. Pixelul găsit este marcat ca punct de "însămânțare".
- Pentru baleierea imaginii s-au realizat matrici speciale, perechi, de structura:

$$[M_o] = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 0 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[M_v] = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

cu condiția ca valoarea aplicării ambelor matrici în punctul explorat P_{ic}

$$E = \sum a_{ij} P_i(xy) < \rho P_{ic}$$

- P_{ic} fiind valoarea pixelului central pe care se aplică matricea.

$$- \rho = f(\sigma_a) = ct$$

cu σ_a = varianța densității imaginii în zona de interes.

Baleierea s-a făcut în domeniul zonei de interes definită în faza anterioară.

Au fost găsite astfel punctele de însămânțare reprezentate în figurile e) din imaginile prelucrate morfologic. De notat că pentru vizualizarea acestora în imagine pixelii au fost reprezentate de zone matriciale 3×3 .

5.6. Creșterea petelor

Punctelor de însămânțare li se asociază pixelii adiacenți după criterii de apartenență definiți de caracteristicile locale și zonale.

Explorarea se face în următoarea succesiune de faze:

- se marchează pixelul inițial P_{ik} (zona Z);
- se deschide lista (traseul Z') vecinătăților pentru pixelii din pozițiile $P_{i+1,k}, P_{i-1,k}, P_{i,k+1}, P_{i,k-1}$ reținând pixelii care îndeplinesc condițiile:

- nu sunt pixeli deja reținuți în zona curentă sau în altă zonă (pată) formată anterior,
 - se află în zona de interes,
 - îndeplinesc condițiile de apartenență;
- pentru fiecare pixel reținut din exploatarea listei Z' se completează acesta cu noile vecinătăți ale pixelului captat, până la epuizarea listei Z' ;
Au fost luate în considerare următoarele criterii de apartenență.

Criteriul de netezire C_N

Se apreciază că abaterea valorii unui pixel față de media M_z (pe o matrice $N^2 = 5^2$) din punctul de însămânțare, definită de un prag prescris, este un criteriu puternic de apartenență astfel:

$$|P_{ij} - M_z| < \gamma M_z$$

unde:

$$\gamma = f(\sigma_{z_i}) = c_1$$

σ_{z_i} - varianța zonei de interes

Prin σ_{z_i} se iau în considerare particularitățile statistice ale imaginii.

Criteriul derivatei locale C_D

Se ia în considerare gradientul local al punctelor marginale, exprimate prin derivata locală cu ajutorul diferențelor finite. Abordarea prin diferențe finite se face prin metodele diferențelor regresive, diferențelor progresive și diferențelor centrale. Aceasta din urmă presupune analiza diferențelor centrale, care intervin între nodurile dispuse simetric față de nodul (pixelul) i .

În demonstrarea formulelor pentru diferențele centrale, se consideră inițial cazul diferențelor centrale (diferența la stânga sau diferența înapoi, precizare care confirmă unidirecționalitatea aplicării derivatei I).

Se consideră nodurile echidistante:

$$z_i = y_i (i = 0, 1, 2, \dots) \quad \text{cu valorile } j_i = y(t_i)$$

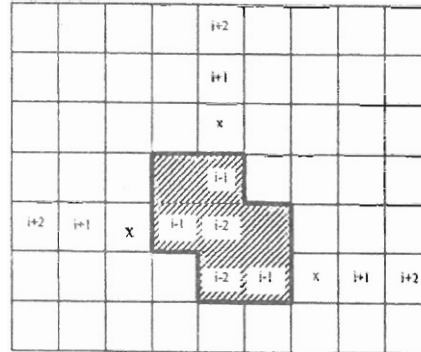
ale răspunsului semnalului spațial.

Fără a parcurge demonstrațiile, pentru calculul derivatei prin diferența centrală se ajunge ca pentru $m = 2$, care va da eroarea τ^{2m} (τ - pasul pixelului) formula derivatei I-a este:

$$y'_i = \frac{1}{12\tau} (-y_{i+2} + 8y_{i+1} - 8y_{i-1} + y_{i-2}) + \theta(\tau^4)$$

Astfel, se consideră matricea coloană $[1 \times 5]$ și transpusa acesteia cu elementele

$[a_{i+2}, a_{i+1}, 0, a_{i-1}, a_{i-2}]^T$ egale cu coeficienții ecuației y'_i . Se aplică matricea în fiecare pixel i în vecinătatea punctului însămânțat sau în vecinătatea punctelor deja asociate pe direcțiile N, S, E, V, (din lista vecinilor Z') astfel ca orientarea vectorului să fie cu punctul $i + 2$ spre exteriorul zonei pentru a considera, eventual, doar sensul scăderii valorii pixelului.



Direcțiile de orientare a vectorului derivata I-a pentru punctele x

În cazul în care valoarea absolută:

$$\left| \sum_{i=i+2}^{i-2} a_i p_i \right| < \gamma \quad \text{pixelul se include în zonă}$$

$> \gamma$ pixelul nu se include în zonă

$\gamma = f(M_z, \sigma_{z_i}) = c_1$ - pentru un set de radiografii obținând valoarea $\gamma = 0,12$.

După cum se observă din coeficienții matricei, criteriul C_D este extrem de sensibil la variațiile punctelor x_{i+1} , ceea ce este o condiție restrictivă, reduce practic analiza la trei pixeli.

Criteriul gradientului C_G

Se consideră matricea coloană și transpusa ei de explorare locală, de tip tabel, ca în cazul reprezentării cusăturii, cu coeficienții $[-2, -1, 0, 1, 2]$ și se aplică în același mod ca în cazul criteriului C_D obținând ea pentru:

$$\left| \sum_{i=i+2}^{i-2} a_i p_i \right| < \eta \quad \text{pixelul se include în zonă}$$

$> \eta$ pixelul nu se include în zonă

Se pot remarca următoarele:

- criteriul gradientului C_G nu este sensibil la variații lente ale semnalului, astfel pată/defect va putea include zone cu treceri șterse, care nu sunt caracteristicile defectului;
- criteriul derivatei locale C_D este sensibil la zgomot și restrânge zona de analiză

Au fost testate criteriile combinate de apartenență ca reuniuni sau intersecții.

5.7. Analiza criteriilor de apartenență

Astfel aplicarea combinată a criteriilor de apartenență relevă:

$C_N \cap C_D$ - înlătură efectul de zgomot, care poate fi indus de C_D

$C_N \cap C_G$ - înlătură efectul variației lente a zonei analizate

În ambele situații determinant este criteriul C_N

$C_N \cup C_D$ - nu este limitat efectul de zgomot

$C_N \cup C_G$ - C_N are rolul determinant

În urma acestor considerații și a experimentărilor am reținut criteriul C_N ca fiind cel mai eficient.

Cu acest criteriu au fost obținute petele de defect, prezentate în figura f – imagine pattern, pentru categoriile de defecte analizate.

6. Specificații generale de calcul

În analiza imaginii au fost utilizate două niveluri de prelucrare a semnalului la nivel de pixel și de prelucrare zonală.

Prelucrarea la nivel de pixel a fost realizată utilizând două surse de informații:

- generale caracteristice pentru întreaga imagine considerată,
- locale caracteristice vecinătăți pixelului. Vecinătatea este definită de o matrice de mărimile 3×3 , 5×5 sau 7×7 .

Prin prelucrarea pe zona se consideră regiuni de prelucrare separate în care aplică transformări în funcție de caracteristici cum ar fi: nivelul de variație al gradientului de gri, zgomotul aleator, luminozitatea, contrastul, repartițiile statistice.

Pentru etapele de prelucrare au fost necesare următoarele programe cum ar fi:

- indentificarea cusăturii (fișiere CUS)
- eținerea zonei de interes (fișiere ELI)
- definirea punctelor de însemnătate (fișiere INS)
- determinarea petelor (fișiere PAT)
- analizarea formei defectelor

Pachetul de programe prelucrează imagini radiografice de sudură în format DIB sau BMP cu o rezoluție de 150 dpc și 256 nuanțe de gril.

Platforma de lucru este Windows '95 necesitând următoarele resurse hard: procesor Pentium, 3.2 Mb RAM, 566HDD, monitor SVGA.

Codul sursă a fost scris în limbajul VISUAL C++ 5.0.

Pentru dezvoltarea programelor au fost necesare și programe dedicate prelucrărilor de imagini cum ar fi: Paint Shop Pro, Photoshop și Pictureman.

7. Concluzii

Rezultatele obținute pe toate clasele de defecte standardizate au demonstrat că metoda se poate integra într-un sistem operațional de recunoaștere automată a defectelor de sudură, asistând operatorul uman și sporind astfel siguranța detecției.

A fost realizat, de asemenea, și clasificatorul decizional pe grupe și categorii de defecte.

Bibliografie

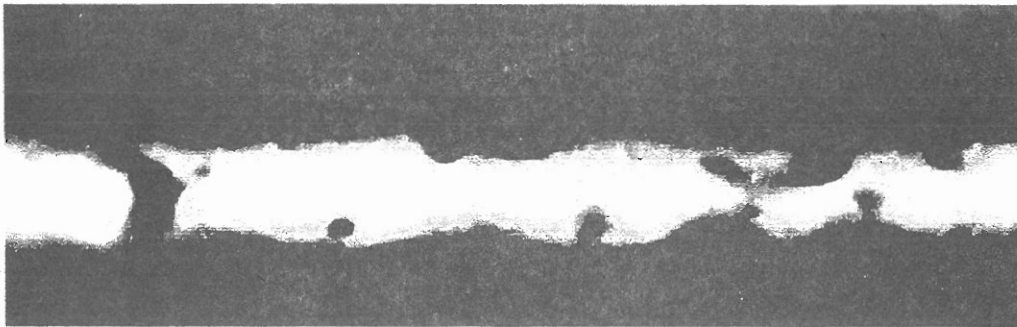
1. AHAIA, N., CHUANG, J. N.: Shape Representation Using a Generalized Potential Field Model. În: Pattern Analysis and Machine Intelligence, nov. 19/2, 1997.
2. AMIT, Y., GEMAN, D.: Joint Induction of Shape Features and Tree Classifiers. În: Pattern Analysis and Machine Intelligence, nov. 19/11, 1997.
3. DEMIGNY, D., TAWFIK, K.: A Discret Expression of Canny's Criteria for Step Edge Detector Performance Evaluation.. În: Pattern Analysis and Machine Intelligence, nov. 19/11, 1997.
4. GONZALEZ, R., WOODS, R. E.: Digital Image Processing, Addison-Wesley Publ. Comp, 1992.
5. GOMAN, D., GEMAN, S., DONG PING: Boundary Detection by Constrained Optimisation. În: IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, nr. 7, 1990.
6. HUSSAIN, Z.: Digital Image Processing. Ellis Horwood Lmt., 1991.
7. HADDAD, R. A., PARSON, T. W.: Digital Signal Processing Theory, Applications, and Hardware, Computer Science Press, 1991.
8. HEATH, M. D., SARKAR, S.: A Robust Visual Method for Assessing the Relative Performance of Edge-Detection Algorithms. În: Pattern Analysis and Machine Intelligence, dec. 19/12, 1997.
9. MORAN, C. J.: A Morphological Transformation for Sharpening Edges of Features Before Segmentation. În: Computer Vision 49, 1990.

10. POPA, V.: Probleme practice ale radiografiei industriale cu radiații x și γ , Editura Tehnică, București, 1978.
11. PAVLIDIS, TH.: Algorithms for Graphics and Image Processing, Computer Science Press, 1982.
12. PAVLIDIS, TH.: Structural Pattern Recognition, Springer Verlag, Berlin, 1997.
13. PAVLIDIS, TH., LIOW YUH - TAY: Integrating Region Growing and Growing Detection. În: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence , nr.3, 1990.
14. * * * . Stas - 8299 - 78 Clasificarea și simbolizarea defectelor imaginilor redade prin topire pe baza radiografiilor, Editura Tehnică, București.
15. * * * . SR - EN 26520/1506520 clasificarea imperfecțiunilor din sudurile prin topire ale metalelor cu comentarii explicative, Editura Tehnică, București.
16. SĂVESCU, M., CONSTANTIN, I., PETRESCU, T.: Metode de aproximare în analiza circuitelor electronice, Editura Tehnică, București, 1982.
17. SCHUMIT, C.: Local Grayvalue Invariants for Image Retrieval. În: Pattern Analysis and machine Intelligence, mai 19/5, 1997.
18. THOMASON, M. G.: Sintactic Pattern Recognition Stochastic Languages (Handbook of Pattern Recognition), Academic Press, 1986.

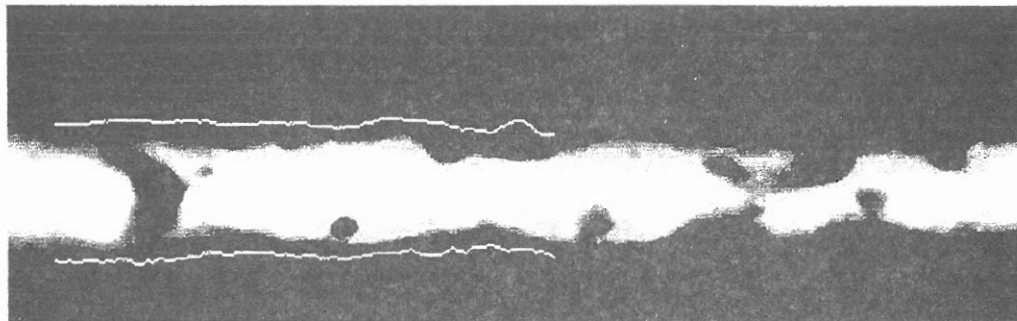
FAZELE DE PRELUCRARE ÎN ABORDAREA MORFOLOGICĂ

INCLUZIUNI ZGURĂ

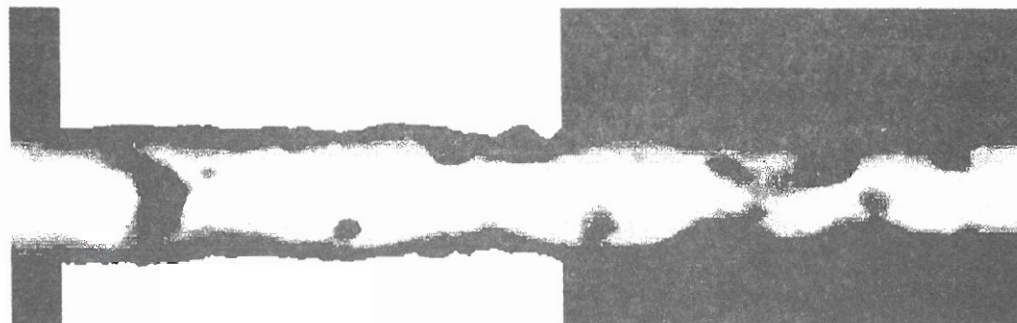
Clasa 2.1.1



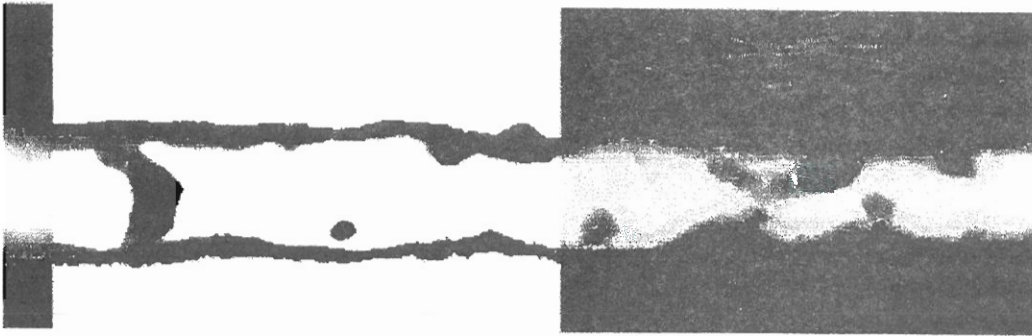
a. Imagine originală



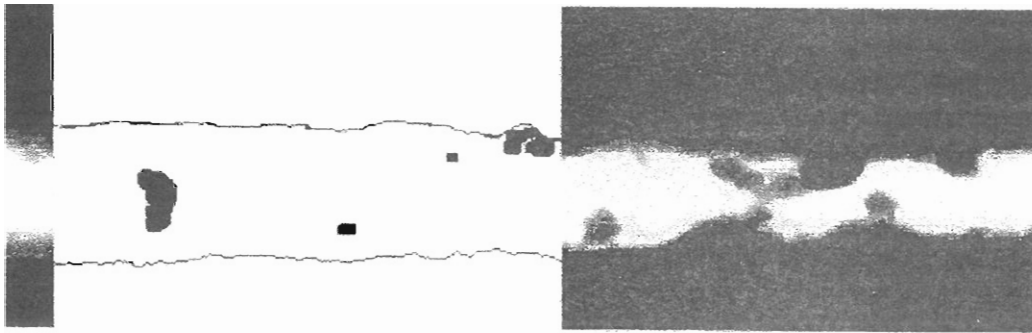
b. Imagine cusătură



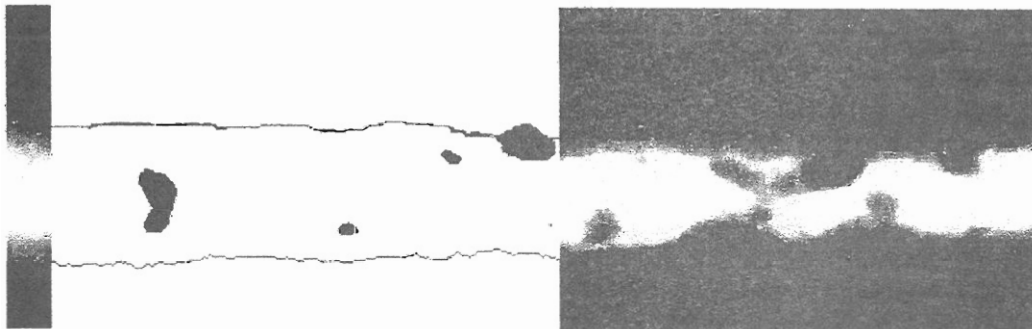
c. Imagine cordon



d. Imagine eliminare



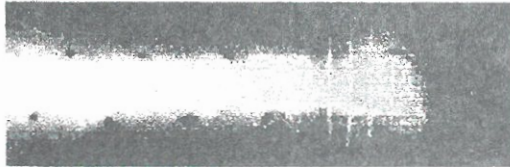
e. Imagine însămânțare



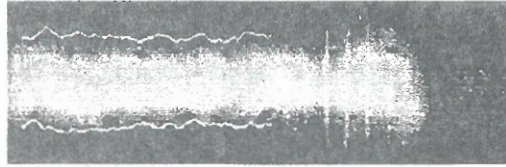
f. Imagine patern

INCLUZIUNI ZGURĂ ALTERNANTE

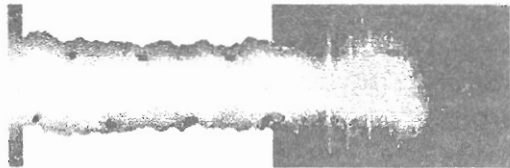
Clasa 2.2.1



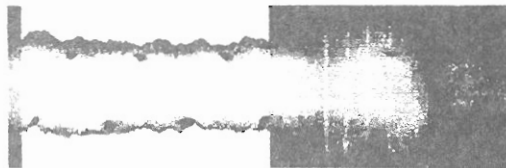
a. Imagine originală



b. Imagine cusătură



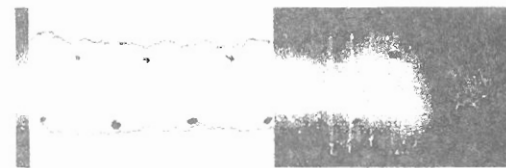
c. Imagine cordon



d. Imagine eliminare



e. Imagine însămânțare



f. Imagine patern