

### 1.3.9.



1. **Denumirea metodei:** EXAMINAREA PRIN TERMOGRAFIERE

(IRT – *Infrared Thermography*)

2. **Tipul de examinare:** termic.

3. **Agentul de investigare:** căldura emanată de un corp sau emisă în urma încălzirii artificiale.

4. **Fenomenul fizic de bază:** radiația termică emisă de un corp este purtătoare de informație privind omogenitatea și structura corpului respectiv

5. **Modul de aplicare:** se detectează căldura emisă în mod natural de obiectul examinat sau se asociază sistemului de examinare cu o sursă de căldură care încălzește obiectul examinat, după care se analizează fluxul termic radiat. Propagarea căldurii în obiect depinde de structura acestuia.

6. **Domeniul de utilizare:** mentenanța instalațiilor de transport și transformare a energiei electrice, verificarea pierderilor de căldură în clădiri, examinarea unor materiale nemetalice (compozite), supravegherea proceselor exoterme sau endoterme, monitorizarea proceselor de prelucrare la cald etc

7. **Indicația de defect:** imagini codificate în culori sau în nuanțe de gri, privind distribuția câmpului termic pe suprafața obiectului examinat.

8. **Materialul obiectului controlat:** materiale compozite, structuri lipite, stratificate sau acoperite, metale și aliaje (nelucioase sau acoperite cu vopsea mată), materiale plastice, materiale pentru construcții (beton, ciment etc.) .

9. **Particularități:** caracterizarea unui material cu ajutorul undelor termice se bazează pe corelația dintre modul de distribuție a acestor unde și proprietățile analizate. Prezența unei discontinuități determină o anomalie de distribuție a fluxului termic și deci de temperatură în materialul examinat. Punerea în evidență a acestor anomalii furnizează informații utile privind discontinuitățile.

*Termografierea în infraroșu* este o tehnică ce permite obținerea, cu ajutorul unei aparaturi adecvate, a *imaginii termice*, a unei *scene termice* observate într-un domeniu spectral din infraroșu. Înțelegând prin *image termică* – o repartitie structurată a datelor reprezentative ale radiației infraroșii provenind de la o scenă termică și prin *scenă termică* – parte a spațiului-obiect care se observă cu o aparatură de termografiere. Domeniul spectral denumit infraroșu (IR) este o bandă din spectrul radiației electromagnetice, situată între domeniul vizibil și cel al undelor radio, cu lungimi de undă cuprinse între 0,75 și 30  $\mu\text{m}$ , din care, în defectoscopie, sunt folosite uzual doar intervalele 3,5 ... 5  $\mu\text{m}$  și 8 ... 12  $\mu\text{m}$ .

Marele avantaj, al examinării prin termografiere îl constituie posibilitatea de a prelua imagini termice de la mare distanță (uneori km) a unor suprafețe mari într-un timp foarte scurt, comparabil cu fotografierea sau filmarea în domeniu vizibil.

10. **Scheme de principiu** - din punct de vedere principal metodele de termogra-fiere pot fi grupate în două mari grupe: metodele de examinare care necesită o sursă de căldură ca anexă a echipamentului de examinare, denumite *metode active* (fig. 1.52) și metodele de control care constau în analiza sau măsurarea fluxului termic furnizat de produsul examinat (căldura există sau este produsă independent de procesul de examinare), denumite *metode pasive* (fig. 1.53).

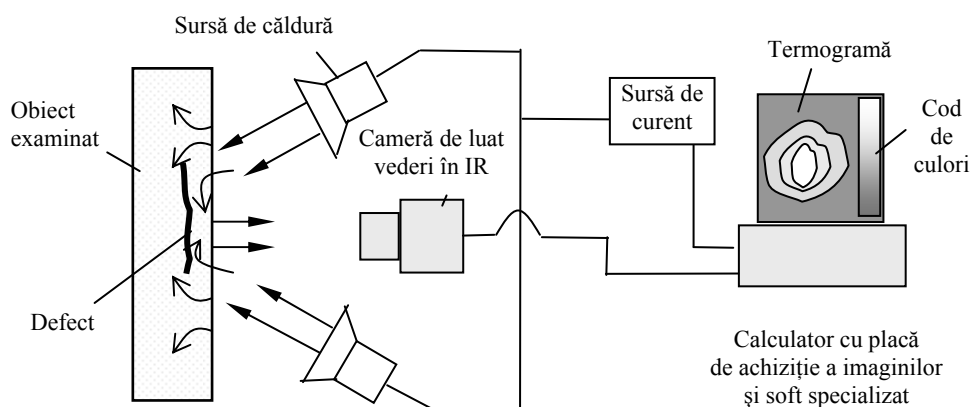


Fig. 1.52. Schema de principiu a termografiei active.

Metodele active se folosesc pentru: detectarea defectelor în materiale lipite, stratificate, acoperite, compozite (metalice sau nemetalice); măsurarea grosimilor straturilor de acoperire sau învelișurilor; caracterizarea materialelor din punct de vedere al comportamentului termic; evaluarea structurii materialelor compozite polimerice.

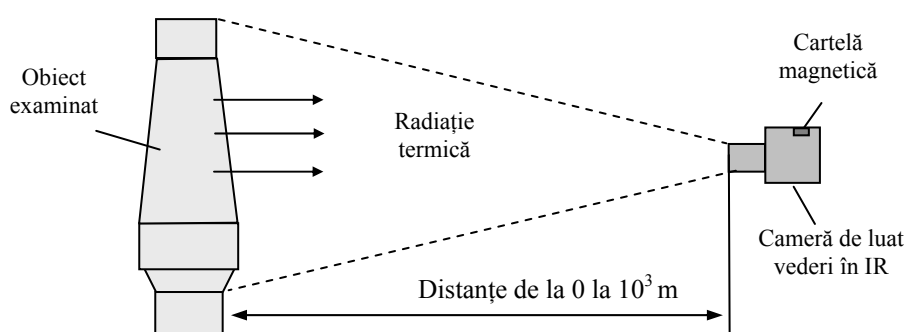


Fig. 1.53. Schema de principiu a termografiei pasive.

Metodele pasive au o aplicabilitate extrem de largă: evidențierea traseelor pe unde se produc pierderi de căldură în construcții; verificarea izolațiilor; măsurarea umidității sau igrasiei; detectarea fisurilor și crăpăturilor. Cea mai răspândită aplicație este în domeniul mentenanței instalațiilor electrice. Imaginea

termică a componentelor instalațiilor electrice conține informații globale privind, pe de o parte, funcționarea normală și, pe de altă parte, informații privind disfuncțiile sau imperfecțiunile materialelor sau asamblărilor. Majoritatea componentelor electrice în funcțiune sunt calde, chiar fără a avea defecte. Ceea ce deosebește un defect de o zonă normală este o *supraîncălzire* a componentei cu defect față de cea fără defect. În cazul în care examinarea se face în varianta activă, încălzirea se poate face pe aceeași parte cu detecția sau pe față opusă a obiectului examinat (fig. 1.54).

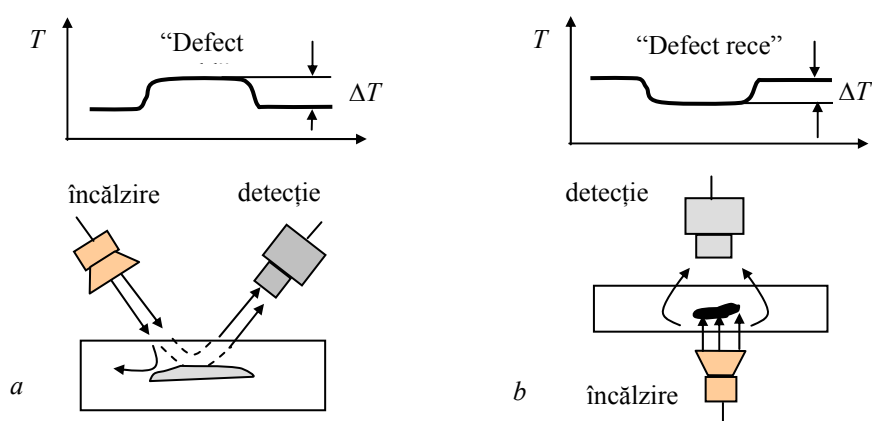


Fig. 1.54. Defectul – barieră termică:  
a – examinarea pe aceeași față; b – examinarea pe față opusă.

11. **Echipament de bază** – un sistem de examinare termografică, care poate fi utilizat atât în varianta activă (fig. 1.55, a) cât și în varianta pasivă (fig. 1.55, b) cuprinde, de regulă, următoarele componente: cameră radiometru, sistem de încălzire, masă pentru deplasarea după trei axe de coordonate, sursă de curent electric pentru alimentarea sistemului de încălzire și acționarea motoarelor care asigură deplasarea componentelor pe masa-suport, corp negru pentru etalonarea sistemului, soft specializat și computer adecvat.

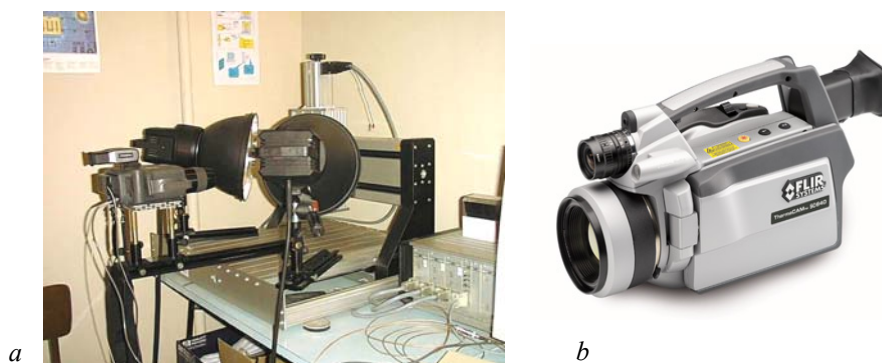


Fig. 1.55. Sistem de examinare prin termografiere: a – încălzire în impulsuri, cu blitzi de radiație infraroșie; b – cameră radiometru.

Există o gamă largă de aparate de preluat imagini în infraroșu. Cele mai moderne au un detector cu elemente sensibile multiple denumit *FPA - Focal Plan Array*.

**12. Observații și recomandări:**

- Termografierea în infraroșu, ca metodă de examinare nedistructivă, prezintă o serie de avantaje care au condus la dezvoltarea unui ansamblu extrem de amplu de aplicații, dar și o serie de limite: cost ridicat al instalației (de ordinul zecilor sau sutelor de mii de dolari), calificare superioară a personalului operator (de regulă, personalul are studii superioare de fizică sau inginerie), deoarece interpretarea rezultatelor necesită cunoștințe complexe, adeseori interdisciplinare; posibilități de detectare doar a defectelor situate în apropierea suprafeței; produsele cu suprafețe lucioase nu pot fi examinate fără o pregătire prealabilă a suprafeței materialele cu o conductivitate termică foarte mare sau foarte mică nu pot fi examinate în mod obișnuit. Toate aceste limitări pot fi mai mult sau mai puțin depășite cu unele accesorii sau cu o tehnologie specială de examinare.
- Nici una dintre metodele clasice de examinare nedistructivă nu permite examinarea unor suprafețe atât de mari. Imaginile termice preluate de camere de luat vederi în infraroșu sunt comparabile cu imaginile preluate de o cameră de filmat în domeniul vizibil sau cu cele înregistrate fotografic. Echipamentul, dotat cu o parte optică adecvată, portabil și ușor de manevrat pe teren, asigură înregistrarea unor imagini din avion sau elicopter a unor ape sau terenuri minate.
- În condiții de laborator, principala diferență între inspecția termografică și alte metode de control, cum ar fi cele cu ultrasunete, cu pulberi magnetice sau curenți turbionari constă în posibilitatea de a detecta defecte într-o gamă largă de materiale metalice sau nemetalice.
- Pentru caracterizarea unui sistem termografic este necesar să fie luate în considerare toate componentele lanțului radiometric. Fiecare componentă a acestuia este caracterizată de o serie de mărimi care afectează direct sau indirect capabilitatea globală a sistemului. De exemplu, dacă detectorul prezintă sensibilitate în domeniul spectral 3...5  $\mu\text{m}$ , se poate spune despre sistemul termografic, care include acest detector, că este caracterizat de un *răspuns spectral* în intervalul 3...5  $\mu\text{m}$ , chiar dacă filtrul optic admite o bandă spectrală mai largă.
- Evaluarea capabilității sistemului se poate face fie prin luarea în considerare a mărimilor caracteristice ale componentelor în mod separat, fie prin combinarea unor mărimi, reprezentative pentru sistem.
- Sistemele de termografiere pot fi destinate unei analize pur calitative sau unei analize cantitative combinate cu una calitativă. Analiza *calitativă* se face prin simpla vizualizare a distribuției temperaturii în cadrul unei

scenei termice, nesensibilă direct, prin observare cu ochiul liber. În acest caz, sistemul furnizează o imagine cu un *contrast*, în domeniul vizibil, proporțional cu contrastul termic al obiectului examinat în raport cu mediul înconjurător.

### 1.3.10. Metode speciale

Metodele de examinare nedistructive mai puțin răspândite sau apărute mai recent, din punct de vedere istoric, sunt denumite metode speciale. În tabelul 1.4 sunt prezentate o parte din metodele considerate, în prezent, speciale.

Tabelul 1.4

Metode		Scopul testării			
		Identifi- carea aliajelor	Detectarea disconti- nuităților	Caracteri- zarea ma- terialului	Măsurarea tensiunilor și deformațiilor
Acustice	Holografie acustică	nu	da <sup>1</sup>	nu	nu
	Acustografie	nu	da	nu	nu
	Tehnici acusto-ultrasonice	nu	nu	da	da <sup>2</sup>
	Tehnici fotoacustice	nu	da	da	nu
	Analiza vibrațiilor	nu	da <sup>3</sup>	nu	da <sup>3</sup>
Electrice și magnetice	Metoda Barkhausen	nu	nu	nu	da <sup>2</sup>
	Magneto-optică	nu	nu	nu	da <sup>2</sup>
	Rezonanță magnetică	nu	da	nu	nu
	Înveliș fotoelastic	nu	nu	nu	da
	Măsurarea rezistivității	da	nu	4a <sup>4</sup>	nu
	Măsurarea anizotropiei magnetice	nu	nu	da	da <sup>2</sup>
	Termoelectricitate	da	nu	nu	nu
	Tribo-electricitate	da	nu	nu	nu
Optice	Interferometrie holografică	nu	da	nu	da
	LASER	nu	nu	nu	da
	Interferometria Moire	nu	da	nu	da
	Imagistica Moire	nu	nu	nu	da
Radiații	Spectroscopia emisiei optice	da	nu	nu	nu
	Analiza undelor termice	da	da	da <sup>2,5</sup>	nu
	Spectroscopie prin fluorescență cu raze X	da	nu	nu	nu
Altele	Analiza chimică	da	nu	nu	nu
	Difracția neutronilor	nu	nu	nu	da

1 – precizează mărimea și poziția defectelor; 2 – măsoară tensiunile; 3 – poate ajuta la determinarea stării materialului, dar în plus examinarea trebuie să confirme prezența defectelor și deformațiilor; 4 – de exemplu, duritatea; 5 – rezistența termică, conductivitatea, difuzia termică, emisia, absorbția.

Metodele considerate clasice, au fost dezvoltate în primul rând pentru detectarea discontinuităților din materiale și piese.

*Metodele speciale* sunt mai frecvent folosite în caracterizarea și măsurarea proprietăților materialelor cum ar fi: deformări, comportarea la tensiuni și solicitări, în cazul materialelor identificate deja sau pentru caracterizarea unui material prin comparație cu alte materiale, în scopul identificării compoziției chimice a unui material incomplet sau deloc cunoscut. Nu toate metodele speciale sunt și noi, ca situație în timp. Unele, cum ar fi cele pentru determinarea tensiunilor, au fost aplicate în industrie încă din 1950.

*Ceea ce au în comun metodele speciale este modul în care industria le include în tehnologii, uneori în domenii mai restrânse, cel mai adesea pentru caracterizarea materialelor și/sau pentru monitorizarea proceselor și mai puțin pentru detectarea discontinuităților.*

*Tensiunile* sunt evaluate frecvent prin metode optice, incluzând imagistica Moiré, holografia și alte forme de interferometrie, comparabile prin rezultate cu metodele fotoelastice sau examinarea prin difracția cu neutroni. Tensiunile existente în material pot conduce la oboseală, fisurare sau chiar ruperi. Când materialele sunt supuse acțiunii unor forțe exterioare, în interiorul acestuia se produc fie deplasări, ca răspuns la acțiunea forței, fie modificări ale formei.

Deformațiile limită se referă la modificările relative ale dimensiunilor sau formei corpului tensionat. În cazul în care corpul are o secțiune mai complicată, deoarece deformațiile sunt în mai multe direcții, tensiunile sunt definite ca o măsură a deformațiilor. Dacă aceste modificări dimensionale sunt împiedicate din diverse motive, răspunsul la aplicarea forțelor exterioare este apariția tensiunilor reziduale în material.

*Identificarea aliajelor* este și ea o ramură a încercărilor nedistructive deși nu se urmărește detectarea unor discontinuități sau defecte, în sensul uzual al termenului. Identificarea aliajelor necesită un ansamblu de metode, incluzând metode electronice, magnetice, chimice și cu radiații. Unele metode de identificare a aliajelor includ degradări minore ale suprafeței, cum ar fi coroziune sau polizare. Cu toate că identificarea și clasificarea nedistructivă a aliajelor este folosită de mai bine de 50 de ani, caracterizarea metalelor a început să primească o atenție deosebită în anii 1980.

*Determinarea compoziției chimice și a caracteristicilor* unui material sunt deosebit de importante. De cele mai multe ori, compoziția chimică a unui material afectează durata de funcționare a pieselor confecționate din acel material mai mult decât o fisurare puternică.

*Detectarea unor «viitoare» discontinuități*, defecte mai subtile, care într-o anumită etapă a fabricației sau chiar a funcționării nu se manifestă ca discontinuități clasic detectabile. Discontinuitățile existente într-un material nu sunt reprezentate numai de lipsa de material sau goluri clare, cum ar fi porii și fisurile. Adeseori, *interfața* dintre două materiale diferite sau dintre două straturi ale aceluiași material nedetectabilă prin metode clasice, poate deveni locul unde se

produce o rupere. La solicitarea la presiune și temperatură, un material stratificat se poate contracta sau alungi în mod diferit, în straturi diferite. Se creează în acest mod spații între straturi, ceea ce poate determina *exfolierea*. Acest fenomen este frecvent întâlnit, de exemplu, la plăcile din materiale compozite care învelesc navele spațiale. Același mecanism poate produce desprinderi de straturi și chiar fisuri. Măsurarea microdeplasărilor poate ajuta la detectarea precoce sau predicția ruperii materialului.

Este dificilă o trecere în revistă completă a aplicațiilor metodelor speciale în diverse domenii ale industriei. În literatura de specialitate sunt descrise metode de examinare speciale pentru domeniile: textile, hârtie, conservarea lucrărilor de artă, inginerie civilă și arhitectură, utilizări neelectrice, preparare alimente, bunuri de consum și fabrici de asamblare a produselor electronice.

Proprietățile materialelor din aliaje metalice (duritatea, reziliența, structura, deformabilitatea etc.) sunt strict determinate de compoziția chimică (elementele de aliere) și de combinarea diferitelor structuri cristaline prin tratamente termice specifice. În industria oțelului metodele speciale de încercări nedistructive sunt frecvent folosite pentru studiul și monitorizarea modificărilor proprietăților chimico-structurale. Termografierea în infraroșu este folosită adesea pentru monitorizarea operațiilor de prelucrare la cald: laminare, roluire, forjare și turnare sau pentru monitorizarea tratamentelor termice.

Metodele de identificare a aliajelor, utilizate la determinarea compoziției chimice a materialelor și diferențele cantitative ale componentelor de aliere sunt determinate prin fluorescența cu raze X, analiza spectrografică sau analiză chimică. Multe dintre aceste metode sunt aplicate și în inspecția nedistructivă a calității. Proprietățile feromagnetice ale oțelurilor aliate pot fi evaluate electromagnetic, un exemplu în acest sens este metoda care se bazează pe efectul Barkhausen. *Efect Barkhausen* este denumirea dată zgomotului care apare într-un material feromagnetic, când forța de magnetizare aplicată pe acesta se modifică. Descoperit de fizicianul german Heinrich Barkhausen în 1919 acest efect este cauzat de schimbările rapide ale mărimii domeniilor magnetice – atomi orientați magnetic la fel – în materiale feromagnetice.

Metodele fotoacustice prezintă importantul avantaj că nu necesită contact cu produsul și nu este nevoie de nici un element de cuplare.

Metodele fotoacustice se bazează pe modificările de presiune sau de densitate ale probei ca urmare a absorbției luminii sau a radiației infraroșii. În mod obișnuit, se folosește ca sursă de excitare un fascicul laser. Semnalul fotoacustic, într-o primă aproximație, este proporțional cu creșterea de temperatură a probei, deci depinde de energia absorbită. Modulația în frecvență a impulsurilor radiației laser incidente este reglată în așa fel încât să se încadreze în domeniul acustic, ceea ce permite utilizarea unor metode de amplificare specifice semnalelor acustice.

Schimbând compoziția chimică a unui material prin varierea cantitativă a unor elemente de aliere sau doar unele variabile de proces, proprietățile aliajelor pot fi, la rândul lor, variate într-o gamă largă ceea ce permite utilizarea lor într-un spectru larg de aplicații ingineresti.

## 1. Defecte, neconformități, imperfecțiuni

---

Metodele speciale de examinare nedistructivă oferă informații despre materiale în diverse stadii ale fabricației lor, ceea ce are o importanță deosebită în industriile de vârf. Importanța lor este amplificată în prezent deoarece eficiența operațiilor și calitatea iau tot mai mult locul producției cantitative.

*Întrucât nu există o metodă ideală de examinare nedistructivă, în practică, verificarea unui produs se realizează prin combinarea mai multor metode, obținându-se un așa numit “ansamblu de metode de examinare”.*

Acesta cuprinde, în mod obișnuit, examinările:

- optico-vizual (obligatoriu!), completat adesea cu verificarea formei; prin forma piesei se înțelege configurația suprafețelor, întinderea acestora (dimensiunile), precizia geometrică (toleranțe, abateri de formă, abateri de poziție), rugozitatea suprafețelor, însușirile stratului superficial (durificat, vopsit, metalizat etc.).
- cel puțin o metodă pentru detectarea defectelor de suprafață;
- cel puțin o metodă pentru detectarea defectelor de profunzime.

De exemplu, pentru controlul final al unui recipient chimic sudat, din oțel, care lucrează la presiuni înalte, complexul de metode poate cuprinde:

- optico-vizual și verificarea formei;
- pulberi magnetice;
- radiații penetrante;
- ultrasunete;
- verificarea etanșeității.