

LABORATOR 10

DIAGRAMA DE TIP “ARBORE DE DEFECTARE” PENTRU CALCULUL PROBABILITĂȚII APARIȚIEI DE DEFECTE ÎN MATERIALELE CERAMICE

1. Introducere

Metodologia intitulată “arborele de defectare” este una dintre metodele cele mai utilizate pentru analiza fiabilității și pentru calculul probabilității de cedare. Un “arborele de defectare” este compus dintr-o reprezentare grafică a evenimentelor într-o structură ierarhică, arborescentă. În cadrul acestei lucrări se prezintă metodologia de construcție a unui “arborele de defectare” pentru determinarea probabilității de apariție a defectelor (fisurilor) în piesele fabricate din materiale ceramice tehnice. Pentru identificarea principalilor parametri ce trebuie introduși în programul de calcul utilizat în acest scop, se face apel la procesul tehnologic de fabricație a materialelor ceramice. Respectivii parametri sunt reprezentați de neconformitățile ce pot apărea în diferite faze ale procesului tehnologic. În final se prezintă o serie de rezultate pe baza cărora se poate cuantifica influența fiecărei componente a traseului tehnologic asupra probabilității de fisurare și a frecvenței de apariție a acestora pentru materialele ceramice.

Tehnica “arborelui de defectare” este utilizată pentru cuantificarea riscurilor asociate cu sistemele ce prezintă potențial de defectare. Este o reprezentare grafică, logică, a relațiilor dintre evenimente, de obicei evenimente de tip avarie sau defect. Este folosită pentru a determina diferite combinații de erori care ar putea conduce la o defecțiune a sistemului. Defecțiunea majoră a sistemului este denumită eveniment de top. O analiză deductivă folosind un “arborele de defectare” începe cu o concluzie generală sau de pericol, care este afișată în partea de sus a unui arbore ierarhic. Această analiză deductivă este reprezentată de evenimentul final într-o secvență de evenimente în care “arborele de defectare” este folosit pentru a determina dacă cedarea va avea loc sau, poate fi folosit pentru a opri propagarea defecțiunii mai departe în sistem. Celelalte ramuri ale “arborelui de defectare” reprezintă evenimente paralele și secvențiale, care ar putea provoca defecțiunea principală sau pot participa cu o anumită probabilitate la aceasta. În cadrul “arborelui de defectare”, abordarea evenimentelor are loc de sus în jos, sau de la efect la cauză. Arborii de defectare sunt alcătuiți din evenimente și conectori logici (porți „sau”, porți „și”, etc.). Pentru fiecare sub-eveniment, este necesar să se stabilească anumite pre-condiții care ar putea provoca ca acest eveniment să aibă loc. Aceste condiții pot fi combinate în orice număr și în orice mod folosind porți logice. În cadrul unui “arborele de defectare” evenimentele sunt extinse în mod continuu până la sub-evenimente pentru care se poate atribui o probabilitate de apariție. Aceste evenimente se stabilesc pe diferite niveluri de abstractizare ale sistemului. Nodurile superioare reprezintă un nivel ridicat de abstractizare în timp ce nodurile inferioare reprezintă un nivel mai scăzut de abstractizare. Scopul principal al analizei pe baza “arborelui de defectare” este de a evalua probabilitatea ca un eveniment de top să aibă loc, cu ajutorul metodelor analitice și statistice. Aceste calcule implică cunoașterea unor date privind fiabilitatea sistemului, acestea fiind date cantitative și de

întreținere cum ar fi, probabilitate de cedare, rata de cedare, nivelul de cedare, timpul până la cedare, rata de reparații, etc.

Modelele de analiză pe baza arborilor de defectare au fost utilizate de mult timp pentru analize calitative și cantitative ale combinațiilor de evenimente care pot duce la cedarea sistemului.

Construirea unui model de tip "arbore defectare" poate oferi o perspectivă asupra sistemului prin care se pun în evidență potențialele deficiențe. Analiza sistemelor complexe poate produce mii de combinații de evenimente, care pot provoca cedarea sistemului.

2. Modele probabiliste (MP) pentru evaluarea riscului

Modelele probabilistice cantitative sunt construite pe baza *teoriei bazată pe procesele fizice*. Modelele probabilistice pure introduc descrierea parametrilor modelului și interacțiunea acestora prin *variabile aleatorii*. Principalele metode de a construi MP-uri sunt:

- abordarea distribuiri complete (convoluție multiplă integrală);
- lanțurile Markov;
- inferența Bayesian;
- simularea stochastică Monte Carlo.

Modelele fizice, inclusiv MP-urile, reprezintă idealizări ale realității. Așadar, *toate modelele sunt false*. Cu toate acestea, prin îmbunătățiri, modelele se pot apropia de realitate cât mai mult posibil. O modalitate de a reduce probabilitatea apariției cedării instalațiilor, componentelor, etc. este de a le *inspecta în mod periodic* și de a le repara sau înlocui componentele care prezintă semne de deteriorare și degradare, [2]. În trecut, intervalele de inspecție aveau la bază experiența istorică și judecata inginerescă. În ultimii ani s-au dezvoltat metode pentru a determina locațiile și intervalele pentru inspecția pe baza *cunoașterii riscului*. Aceasta s-a transformat într-o nouă metodologie inginerescă, cunoscută sub numele de *inspecție in-service* (ISI) bazată pe risc sau pe risc informat (cunoscut).

Fiabilitatea structurală (FS) și/sau Mecanica Ruperii Probabiliste (MRP) sunt utilizate pentru estimarea probabilității de cedare sau fisurare, iar metodologia de evaluare a riscului în sistem este folosită pentru a determina efectul cedării structurii asupra întregului sistem. Aceste estimări ale riscului se folosesc pentru a ordona sau grupa componentele instalațiilor și instalațiile ca entități în cadrul sistemului global, în funcție de contribuția lor la risc. Componentele sau instalațiile cu un nivel de risc mai ridicat sunt inspectate mai des și cu mai mare atenție. Ordonarea în funcție de potențialul de rupere reprezintă elementul cheie în strategiile ISI moderne.

O componentă structurală poate ceda din diferite cauze, în diferite locații și în diferite momente. Strategia ISI trebuie să se bazeze pe un eșantion reprezentativ a locațiilor de examinat și o sincronizare aleatoare a examinării. Locațiile de inspecție se definesc pe baza înțelegerii mecanismelor de degradare sau deteriorare a materialelor active sub solicitarea operațională a mediului.

Există o incertitudine și o variabilitate semnificativă, asociată cu orice estimare pe bază de calcul a riscului de cedare a componentelor, după cum a demonstrat experiența de serviciu. Pentru a aborda această problemă s-au urmat două căi în cuantificarea probabilităților de rupere și frecvenței acestora:

- analiza datelor pentru service de cedare (experiență anterioară) prin estimări statistice și corelații cu factorii cheie;
- evaluarea (predicția) prospectivă a riscului de cedare prin analize structurale probabiliste (ASP) [3], în special prin Mecanica Ruperii Probabiliste (MRP).

Metodele ASP și MRP sunt delimitate de o abordare mai amplă, cunoscută sub numele de Analiza Probabilistă a Riscului (APR) sau Analiza Cantitativă a Riscului (ACR). ASP și MRP sunt instrumente esențiale în *managementul luării deciziilor*, formând noul domeniu de abordare denumit *managementul riscului* (MR).

Un *sistem de defectare* reprezintă un aranjament ordonat al componentelor ce interacționează între ele și cu alte componente externe, cu alte sisteme, operatori umani și mediu pentru a efectua anumite funcții specifice. Acesta constă din componente structurale care suportă sarcini sau alte acțiuni (de ex. radiații, acțiuni chimice, etc.), precum și din componente nestructurale, cum ar fi echipamentele electrice sau electronice. Cele două metode obișnuite de analiză a riscului de cedare în sisteme complexe sunt *Fault Tree* (FT-”arborele de defectare”) și *Event Tree* (ET-arborele de evenimente).

3. Determinarea riscului pe baza metodologiei “arborelui de defectare”

Metodologia FT face analiza de la efect la cauză, [4]. Ea începe cu cedarea sistemului (acțiunea cea mai importantă) și merge înapoi pentru a deduce care cedare de componentă (evenimentele primare) ar putea cauza cedarea sistemului. Așadar, FT este o metodă grafică de prezentare a modului în care cedarea sistemului poate proveni din cedarea componentelor.

În *figura 1* este prezentată schema pentru un “arborele de defectare” extrem de simplificat.

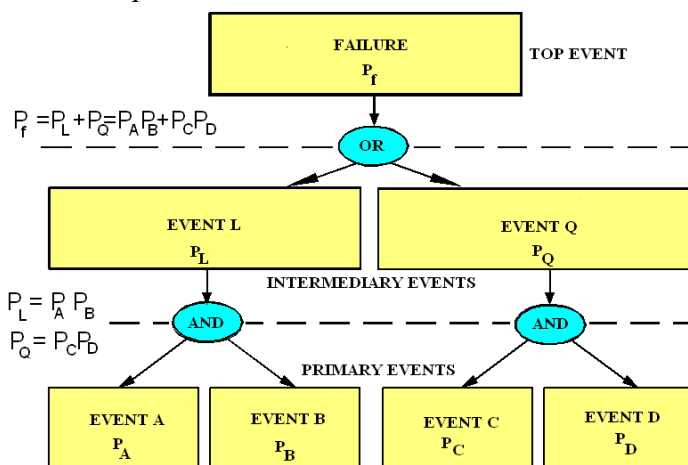


Fig. 1. “Arbore de defectare”

În cadrul acestui arbore sunt incluse numai defectele, mai precis este exclusă non-cedarea. Într-o construcție FT, porțile AND și OR (ȘI și SAU) reprezintă "instrumentele" de legătură dintre *evenimente*. O poartă ȘI implică faptul că acțiunile de deasupra porții vor apărea doar dacă se produc toate evenimentele de intrare de dedesubt. O poartă SAU implică faptul că oricare dintre evenimentele de dedesubt poate declanșa evenimentele de deasupra porții. Trecerea printr-o poartă ȘI implică regula multiplicării pentru probabilitățile evenimentelor asociate. Trecerea printr-o poartă SAU implică adunarea probabilităților (evenimentele sunt presupuse a fi independente).

Poate fi inclusă dependența de timp deoarece cedările nu sunt neapărat imediate. În astfel de cazuri evaluarea secvențială ("secțiuni în timp") se face cu probabilitățile de cedare ale componentelor corespunzătoare, dependente de timp.

Limitele metodelor *arborilor de defectare* sunt parțial intrinseci și parțial de natură practică. Algoritmii FT se bazează pe presupunerea că, o componentă fie funcționează fie cedează și întotdeauna se află într-una dintre aceste două stări. Posibilelor cazuri intermediare nu li se

aplică tratament specific. Se presupune că evenimentele primare care contribuie la cedare sunt independente, ceea ce nu este întotdeauna cazul. Din punct de vedere practic, plenitudinea este greu de obținut, și dacă totuși se întâmplă acest lucru, rezultatul poate fi prea complex pentru a putea fi interpretat într-o manieră directă și ca urmare poate rezulta estimarea inexactă a riscului de cedare.

În practică apar arbori de evenimente formate din sute de elemente (evenimente primare și intermediare).

4. Tehnologii de fabricare a materialelor ceramice tehnice

Procesul tehnologic de fabricare a produselor ceramice cuprinde succesiunea operațiilor și proceselor prin care una sau mai multe materii prime convenabil alese, sunt preparate, fasonate, supuse tratamentului termic și finisate corespunzător caracteristicilor și cerințelor de utilizare ale produselor respective. Materialul preparat poartă numele de masă ceramică. Până la efectuarea tratamentului termic masa ceramică se numește *crudă* iar apoi poartă denumirea de masă *arsă*. Masele ceramice sunt materii prime naturale sau obținute prin sinteză. Prin operații specifice se realizează o masă numită compoziție, având granulația și omogenizarea potrivite cu procedeul de fasonare adoptat și cu textura pe care trebuie să o capete masa ceramică în urma tratamentului termic.

Prin fasonare materialul ceramic capătă forma finală sau semifinală. Procedeul de fasonare se alege în funcție de starea sau consistența maselor fluide, plastice sau solide granulare și de forma pe care trebuie să o capete piesa în final. Stabilirea formei constructive a piesei din ceramică trebuie făcută în strânsă corelație cu rolul său funcțional, cu modul de solicitare în exploatare și condițiile generale de lucru.

Presarea maselor granulare este procedeul de fasonare prin care se obțin mase ceramice compacte ca urmare a deformării granulelor sub acțiunea forțelor de presare, [5]. Compactarea prin presare se aplică în cazul unor produse variate din ceramică. Mărimea granulelor din care se fuzionează aceste produse poate varia de la 0,05 μm la 1 mm. Masele formate din pulberi fine sau ultrafine se granulează cu ajutorul lianților.

În cazul presării izostatice presiunea este exercitată uniform pe toate direcțiile și poate ajunge până la 400 MPa.

Formarea prin sinterizare are loc atunci când pulberea compactată este încălzită la temperatură ridicată, care este sub punctul de topire, particulele pulberii fuzionează, golurile dintre particule descresc, obținându-se un solid mai dens.

Uscarea este un proces fizic condiționat esențial de fenomene termice și de difuzie. Procesul de uscare se bazează pe trecerea în fază gazoasă a umidității, aflată în materiale ca fază lichidă. Procesul este posibil atunci când presiunea vaporilor la suprafața corpului este mai mare decât presiunea parțială a acestora în mediul gazos înconjurător.

Umiditatea inițială a masei este un factor esențial care influențează comportarea masei ceramice în timpul uscării. Astfel, contracția crește odată cu creșterea conținutului de apă.

Temperatura la care are loc procesul de uscare conduce la valori diferite ale contracției masei ceramice. Astfel, există o temperatură critică, specifică fiecărui material, pentru care valoarea contracției atinge un maxim.

În cadrul procesului de uscare, în produsele ceramice iau naștere gradienti de temperatură și umiditate. Acești gradienti determină și o anumită diferențiere în contracția componentei ceramice supuse uscării. Astfel, se produc contracții mai mici în straturile interioare care sunt mai umede. Straturile interioare funcționează ca obstacole în calea contracției straturilor exterioare adiacente provocând deformarea acestora ca urmare a tensiunilor de întindere. Când

tensiunile introduse sunt mai mici decât limita de elasticitate a materialului aflat în starea de uscare, deformările sunt elastice (reversibile). Dacă tensiunile depășesc limita de elasticitate atunci deformările devin plastice (ireversibile) și se poate ajunge chiar la fisurare încă din timpul uscării. Ca urmare, uscarea este unul din fenomenele prin care se poate explica apariția *tensiunilor remanente* în materialele ceramice.

Arderea reprezintă tratamentul termic aplicat produselor ceramice prin care se realizează transformările fizico-chimice ce conduc la consolidarea produselor în forma în care au fost fasonate. Totodată, produselor obținute li se conferă caracteristicile fizico-mecanice corespunzătoare scopului pentru care au fost fabricate. Procesul de ardere cuprinde atât faza de încălzire cât și faza de răcire a produselor ceramice.

5. “Arborele de defectare” pentru fisurarea componentelor ceramice structurale

În procesul de fabricație a materialelor ceramice tehnice apar numeroase neconformități.

Procesul tehnologic conține numeroase etape, fiecare având anumite particularități. Orice eșec, neconcordanță, parametri indecvați, etc., vor conduce la fabricarea unui produs neconform.

Primele două neconformități, în ordinea importanței și frecvenței de apariție sunt reprezentate de apariția de macro-fisuri și abateri de la dimensiunile proiectate. Macro-fisurile apar de obicei la sub-suprafață și se evidențiază foarte clar atunci când piesa finală este rectificată pe suprafețele de așezare. În cadrul “arborelui de defectare” propus în acest capitol se determină riscul de apariție a respectivelor fisuri, pe baze probabilistice. Cauzele care conduc la apariția fisurilor pot fi multiple și țin de fiecare etapă din cadrul procesului tehnologic. Ca urmare, “arborele de defectare”, așa cum s-a arătat în expunerea anterioară, va conține evenimente primare legate de fiabilitatea etapelor din cadrul procesului tehnologic. În final se obține atât probabilitatea de apariție a fisurilor în piesele finale fabricate din materiale ceramice cât și frecvența de apariție a acestora.

Evenimentelor primare aflate în componența “arborelui de defectare” trebuie să li se atribuie o anumită incertitudine în privința realizării lor corecte. În funcție de variabilitatea aleasă pentru evenimentele primare, acestora trebuie să li se atribuie una din componentele:

- frecvența de apariție a neconformității;
- timpul mediu de trecere de la operație reușită la neconformitate;
- intervalul de inspecție;
- viteza cu care se propagă neconformitatea în timp;
- caracteristici legate de durata de viață;
- dacă evenimentul primar variază după o anumită lege probabilistică (Normală, Lognormală, Weibull, etc.) acestuia trebuie să i se prevadă parametri de variație.

Porțile “arborelui de defectare” prezentat mai jos sunt astfel alese încât să corespundă cu situația practică din cadrul procesului tehnologic. Astfel, porțile „sau” sunt așezate acolo unde fiecare eveniment de sub poartă influențează cu o anumită proporție evenimentul intermediar. De exemplu, probabilitatea de eșec în cadrul uneia din etapele procesului de fabricație va conduce automat la calculul unei probabilități de apariție a fisurilor în piesa ceramică finală.

Evenimentelor determinate de porțile „și” li se calculează o probabilitate de apariție dacă toate evenimentele subsidiare au loc fără ca probabilitatea cu care acestea se manifestă să fie egală cu zero.

Evenimentele intermediare sunt determinate de probabilitatea de apariție a evenimentelor și de tipul porții ce le determină. Se menționează faptul că valorile pentru componentele evenimentelor primare au fost trecute pe baza consultării specialiștilor în domeniul fabricării materialelor ceramice.

Trebuie remarcat faptul că un asemenea “arborele de defectare” nu urmărește doar partea cantitativă, de determinare a probabilității de cedare sau apariție a fisurilor în piesele ceramice. Necesitatea mai importantă a unei astfel de diagrame este una calitativă prin care se poate cuantifica rolul fiecărei etape a procesului tehnologic și influența acesteia asupra evenimentului principal, respectiv asupra neconformității finale. Așa cum se va constata din studiul diagramei de tip “arborele de defectare”, există evenimente primare care pot influența în mod semnificativ apariția fisurilor în componentele ceramice tehnice. Acestor evenimente trebuie să li se acorde o importanță mai mare în vederea eliminării neconcordanțelor, neconformităților, parametrilor tehnici ce le caracterizează, etc.

6. Rezultate și discuții

În figura 2 se prezintă diagrama binară cu operatori booleani, de tip ”arbore de defectare” și rezultatele obținute cu ajutorul unui program de calcul ai tuturor parametrilor prezentați în tabele. Așa cum se poate constata, structura „arborelui de defectare” este relativ amplă (laborioasă), conținând un număr însemnat de evenimente primare. Ca urmare a rulării programului cu datele introduse pentru evenimentele primare, se obțin rezultate atât pentru evenimentul principal (apariția fisurii) cât și pentru evenimentele secundare. În tabelul 1 este prezentat un rezumat al datelor introduse inițial în vederea caracterizării evenimentelor primare.

Tab. 1. Detalii asupra evenimentelor primare

Event Name	Parent Name	Description	Type	Unavailability	Failure Frequency	Logic Mode	Failure Model Name
Dosage	Disperse system	Improper dosage	Basic	0.0089	0.0775	Basic	Model 1
Homogenization	Disperse system	Heterogeneous ultra-low mass	Basic	0.0048539853	0.0048762155	Basic	Model 2
Partial drying	Preparation	Failure partial drying	Basic	0.054	0.063	Basic	Model 5
Dimensions	Shape parameters	Inadequate size	Basic	0.053700768	0.0	Basic	Model 3
Texture	Shape parameters	Inappropriate texture	Basic	0.08555513	0.0	Basic	Model 4
Shredding and sorting	Mixing	Failure to shredding and sorting	Basic	0.011507179	0.0	Basic	Model 6
Heat treatment	Trimming	Inadequate heat treatment	Basic	0.042758225	0.046904847	Basic	Model 7
Shape parameters	Trimming	Shape parameters as inappropriate	Basic	0.0049405989	0.0054728267	Basic	Model 8
Temperature 1	Drying	Inappropriate temperature	Basic	0.0018887397	0.0018964114	Basic	Model 9
Moisture	Drying	Inadequate moisture	Basic	0.0049380176	0.0049753099	Basic	Model 10
Air flow	Sintering	Quality and air flow volume inadequate	Basic	0.003	0.002	Basic	Model 11
Temperature 2	Sintering	Inappropriate temperature	Basic	0.0018887397	0.0018964114	Basic	Model 9
Chemical stability	Frosting	Chemically unstable product	Basic	0.001	0.09	Basic	Model 12
Mixing	Frosting	Improper mixing	Basic	0.0048539853	0.0048762155	Basic	Model 2
Mechanical processing	Finishing	Improper mechanical processing	Basic	0.003	0.002	Basic	Model 11

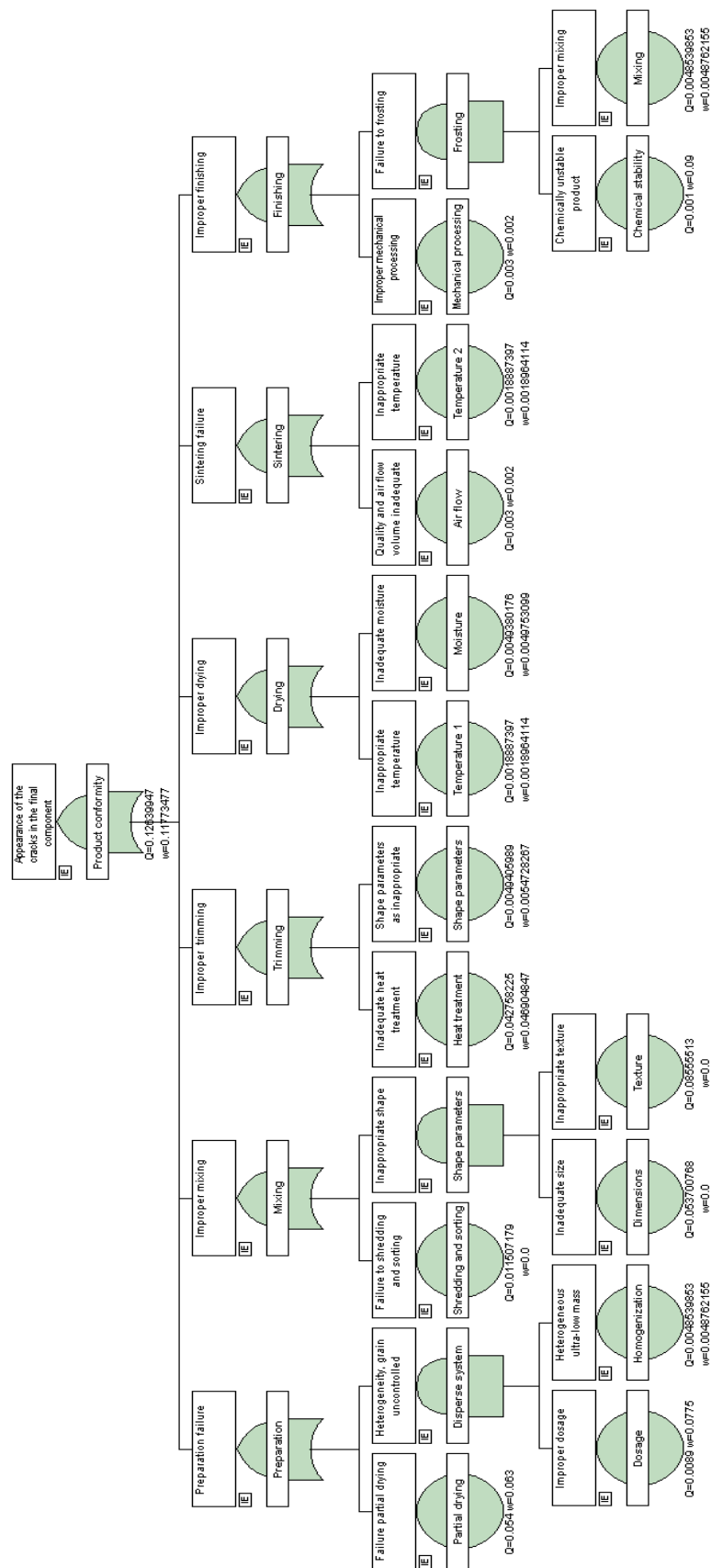


Fig. 2. Diagrama de tip "Fault tree" pentru determinarea probabilității de apariție a fisurii într-un material ceramic

Caracteristicile modelelor de la 1 la 12 utilizate pentru caracterizarea evenimentelor primare sunt prezentate mai jos. Modelele de fisurare utilizate sunt: Fixed (1,5 ,11, 12), Rate (2, 7, 8, 9, 10), Normal (3, 4) and Uniform (5, 6).

Modelul “fixed” precizează indisponibilitatea evenimentului, care nu variază cu timpul, și este folosit pentru a reprezenta probabilitatea de eșec.

Modelul “rate” este un model bazat timp și își asumă rata de eșec și reparare ca fiind constante, în termeni de eșecuri pe oră, pe întreaga durată de viață a sistemului. Indisponibilitatea la momentul t, sau pe durata de viață este dată de

$$(1) \quad Q(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \left[1 - e^{-(\lambda + \mu)t} \right]$$

Frecvența de eșec la momentul t, sau pe durata de viață este dată de

$$(2) \quad w(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = \lambda e^{-(\lambda + \mu)t}$$

unde:

Q(t)=indisponibilitatea componentei;

λ = rata de cedare a componentei;

μ = rata de reparare a componentei.

Distribuția normală este un model de timp bazat pe modelul PDF. Probabilitatea de eșec la momentul t, sau durata de viață este dată de,

$$(3) \quad F(t) = \int_0^t f(t) dt$$

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

unde:

t=timpul;

σ =deviația standard;

μ =valoarea medie.

Pentru a calcula incertitudinea pentru această distribuție este nevoie de incertitudinea parametrilor ca valoarea medie și deviația standard.

Distribuția uniformă este un model de timp bazate pe modelul PDF. Probabilitatea de eșec la momentul t, sau durata de viață este dată de,

$$(4) \quad F(t) = \frac{t-a}{b-a}$$

unde:

t=timpul;

a=limita inferioară;

b=limita superioară în șirul: $a \leq x \leq b$.

Pentru a calcula incertitudinea pentru această distribuție este nevoie de incertitudinea parametrilor a și b.

Datele privitoare la evenimentele primare sunt prezentate în tabelele 2 și 3.

Tab. 2. Model de raport în cazul modelului FT -fixed

<i>Model ID</i>	<i>Unavailability</i>	<i>Failure Frequency</i>	<i>Calculated Unavailability</i>	<i>Calculated Failure Frequency</i>
Model 1	0.0089	0.0775	0.0089	0.0775
Model 5	0.054	0.063	0.054	0.063
Model 11	0.003	0.002	0.003	0.002
Model 12	0.001	0.09	0.001	0.09

Tab. 3. Model de raport în cazul modelului FT -rate

<i>Model ID</i>	<i>Failure Rate</i>	<i>Repair Rate</i>	<i>Calculated Unavailability</i>	<i>Calculated Failure Frequency</i>
Model 2	0.0049	0.014	0.0048539853	0.0048762155
Model 7	0.049	0.23	0.042758225	0.046904847
Model 8	0.0055	0.213	0.0049405989	0.0054728267
Model 9	0.0019	0.01	0.0018887397	0.0018964114
Model 10	0.005	0.02	0.0049380176	0.0049753099

7. Tipuri de analiză

Pot fi efectuate mai multe tipuri de analiză folosind metoda arborilor de defectare.

Evaluări calitative

Pentru evaluări calitative, sunt obținute seturi de trasee minime prin reducerea booleană a arborelui de defectare. Acestea sunt folosite nu numai în evaluări calitative, ci, de asemenea, în toate evaluările cantitative. După obținerea seturilor de trasee minime se pot deduce anumite idei asupra importanței cedării prin ordonarea acestora funcție de mărimea lor, respectiv, o componentă singulară va fi listată prima, o componentă de ordinul doi va fi listată a doua, etc.

Având în vedere că probabilitățile asociate cu seturile de trasee minime scad pe măsură ce ordinul de mărime al acestora crește, clasamentul în funcție de mărime dă o anumită indicație a importanței seturilor de trasee minime. De asemenea, seturile de trasee minime, chiar și fără nici o cuantificare, pot fi utilizate pentru a valida criterii de proiectare. O altă analiză importantă, care poate fi făcută o reprezintă analiza cauzelor cedării. Practic, toate cedările pe un arbore de defectare nu trebuie să fie neapărat independente. O singură cauză sau eveniment de bază poate avea ca rezultat mai multe tipuri de cedări ale sistemului. Cedările multiple, care pot proveni din același eveniment de bază, sunt denumite cedări cu cauză comună. Pentru a identifica seturi de trasee minime, care sunt susceptibile de a provoca cedări comune, se definesc mai întâi

categorii de cauze comune. Exemple de categorii de cauze comune includ producătorul, mediul, surse de energie, resursa umană, etc.

Analiza calitativă include:

- seturi de trasee minime din cadrul arborelui de defectare: - combinații de cedări ale componentei care cauzează defectarea sistemului;
- importanța componentei calitative: - clasamente calitative a contribuțiilor la cedare a sistemului;
- seturi de trasee minime sensibile la cedări cu cauză comună: - seturi de trasee minime sensibile la cedări pe baza unei singure defecțiuni.

Analiză cantitativă

Odată ce se obțin seturile de trasee minime, poate fi efectuată evaluarea probabilității în cazul în care rezultatele cantitative sunt cele dorite. Analiza cantitativă se poate realiza atât pentru o estimare punctuală cât și pentru valori de incertitudine. În cazul în care probabilitățile de cedare ale componentelor sunt tratate ca variabile aleatoare, acestea pot fi propagate la evenimentul de top pentru a determina variații ale probabilității de cedare. Prin "componentă" se înțelege orice eveniment de bază primar indicat pe arborele de defectare. Pentru o componentă am putea avea o probabilitate privitoare la timpul de cedare sau o probabilitate de cedare impusă.

Analiza cantitativă include:

- probabilităților absolute: - probabilități ale sistemului și cedări determinate de traseele minime din arborele de defectare;
- importanța cantitativă a componentelor și seturi de trasee minime: - clasamente cantitative a contribuțiilor la cedare a sistemului;
- Sensibilitate și evaluări relative la probabilitate: - efectele modificărilor în modele de date și determinări de eroare.

8. Concluzii

În tabelul 4 sunt sumarizate rezultatele pentru evenimentul principal, respectiv, fisurarea unei componente fabricată din material ceramic tehnic, ca urmare a imperfecțiunilor apărute în cadrul procesului tehnologic. Se constată faptul că probabilitatea de apariție a fisurilor în piesa ceramică finală, ca urmare a disfuncționalităților din cadrul procesului tehnologic, este de 12,6%, iar frecvența de apariție a evenimentului este de 0,11. În condițiile cele mai nefavorabile toate evenimentele primare concură la apariția evenimentului principal. Interpretarea dată parametrului 1 din tabelul 4 poate fi și aceea că, în condițiile enunțate mai sus, 12% din totalul produselor fabricate timp de un an vor conține fisuri.

Analiza calitativă a acestui arbore de defectare presupune observarea aportului evenimentelor primare asupra evenimentului principal. Aceste influențe se pot vedea din tabelul 1. Deși se poate constata că probabilitatea de manifestare a evenimentelor primare prevăzute în schema arborelui de defectare nu este mare, totuși, multitudinea și dispunerea acestora conduc la o probabilitate ridicată de apariție a fisurilor în componenta ceramică finală. Pentru evenimentele primare, cele mai mari probabilități de apariție le sunt atribuite parametrilor de formă ale particulelor obținute prin măcinare. Prin îmbunătățirea acestei etape a procesului tehnologic și, ca urmare, prin schimbarea parametrilor evenimentelor primare corespondente, se poate constata influența asupra probabilității de manifestare a evenimentului primar.

Tab. 4. Prezentarea evenimentelor principale

	Summary View							
	Parameter	Value	Mean	Std	5%	50%	95%	99.00%
1	Unavailability Q	0.12639947	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	Failure Frequency W	0.11773477	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Mean Unavailability Qm	0.093027218						
4	Mean Availability Am	0.90697278						
5	CFI	0.13476957						
6	Expected Failures	0.12186029						
7	Unreliability	0.1257286						
8	Total Down Time (TDT)	0.093027218						
9	Total Up Time (TUT)	0.90697278						
10	MTBF	8.2061184						
11	MTTF	7.442726						
12	MTTR	0.76339236						
13	Availability	0.87360053						
14	Reliability	0.8742714						
15	No of Cut Sets	12						

Bibliografie

1. Stamatelatos M, s.a, *Fault Tree Handbook with Aerospace Applications*, Prepared for NASA Office of Safety and Mission Assurance, NASA Headquarters Washington, DC 20546, August, 2002.
2. Jinglun Z, and Quan S., *Reliability analysis based on binary decision diagrams*, Journal of Quality in Maintenance, Engineering, Vol. 4 No. 2, pp. 150-161, 1998.
3. Hadi Hosseini S.M. and Takahashi M., *Combining Static/Dynamic Fault Trees and Event Trees Using Bayesian Networks*, F. Saglietti and N. Oster (Eds.): SAFECOMP 2007, LNCS 4680, pp. 93–99, 2007.
4. Goanță V., Palihovici V., *Expertize în Ingineria Mecanică*, Ed. Tehnopress, Iași, 2006
5. Cioclov D., *Risk Engineering- Fracture Mechanics Technology*, Seminar – Managementul duratei de viață și al fiabilității, Timișoara, 2005.
6. Long Z., Jinglun Z., *Analysis and Study of System Safety Based on Event Sequence Diagram*, IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.8 No.2, February 2008.
7. Andrews J.D., Dugan J.B., *Dependency Modeling Using Fault Tree Analysis*, Proceedings of 17th International System Safety Conference, August, 1999