

Rezumat

Teza de doctorat se intitulează ”*Caracterizarea comportamentului mecanic al unei sub-suprafețe din polimer găurită, sub o sollicitare de tip hertzian*”.

Se compune din trei capitole, încadrate de o introducere și o concluzie generală. Bibliografia și șapte anexe se găsesc la sfârșitul documentului.

Scopul principal al acestei lucrări de doctorat este acela de a asigura o metodă care să îmbunătățească performanța de operare a structurilor supuse unui contact hertzian prin modificarea sub-suprafeței materialului folosit. Principiul este simplu: acționarea asupra câmpului de tensiuni din sub-suprafață, fără a afecta integritatea suprafeței. Aceasta este o abordare complet originală. Organizarea este adaptată iar studiul este organizat logic în trei etape: studierea și furnizare de elemente menite să ofere înțelegerea contactului hertzian din punct de vedere experimental, analitic și numeric, studierea cazului de încărcare statică, iar în cele din urmă studierea comportamentul de contact dinamic.

În introducere, sunt prezentate obiectivele generale, precum și planul studiului.

Cadrul general al acestui studiu este prezentat mai detaliat în *primul capitol*. Acest prim capitol integrează bine studiul bibliografic, metodele experimentale și numerice utilizate în această lucrare, materialele utilizate și studiul lor, caracterizarea și validarea procedurii utilizate. Utilizarea și punerea în aplicare a tehnicii fotoelastice face obiectul unei prezentări detaliate, demonstrând în această lucrare că poate fi de mare ajutor. Prin urmare, primul capitol are două vocații: aduce elementele bibliografice pentru aprofundarea necesară și inovațiile propuse, compararea și validarea rezultatele obținute experimental, analitic și numeric într-un caz care este definit ca fiind de referință. Prin urmare, este vorba despre dezvoltarea și validarea instrumentelor ce vor fi utilizate de-a lungul acestei lucrări. Pentru început, sunt amintite elementele teoretice pentru contactul cilindru/plan, precum și modelul analitic pentru determinarea câmpului de tensiuni furnizat de Hills. Acestea sunt formulări care vor fi folosite pentru a compara rezultatele obținute atât experimental cât și numeric.

În această lucrare, analiza numerică are o pondere relativ mare, în acest capitol fiind prezentate instrumentele de analiză numerică (codul de calcul Abaqus). Amintesc aici unele elemente din literatura de specialitate cu privire la alegerea elementelor de discretizare, condițiile limită și inițiez propria analiză. Apoi prezint elementele care permit a afirma că modelele numerice și analitice dau rezultate echivalente, acuratețea măsurătorilor și prezint metoda experimentală pentru a valida simulările numerice propuse: fotoelasticimetria. Cuplarea "analiza experimentală prin fotoelasticimetrie/analiza numerică (și analitică)" este una dintre noutățile din această lucrare. Apoi prezint primele rezultate ale determinării tensiunii maxime tăietoare în sub suprafață la baza contactului.

Primul capitol se încheie cu o analiză a alegerii dimensiunilor și tipul elementelor utilizate în Abaqus, apoi propun mai multe configurații pe care le-am testat. În continuare prezint primele rezultate ale analizei numerice pentru un policarbonat încărcat în condiții echivalente cu cele realizate experimental prin fotoelasticimetrie: rezultatul este convingător și pot să afirm că modelul numeric permite validarea încercărilor ce vor fi realizate în continuare.

Capitolul 2 reprezintă ”inima” lucrării de doctorat. Ideea invocată este de a arăta, prin utilizarea unor tehnici dezvoltate și prezentate în capitolul anterior, că este posibilă controlarea câmpului de tensiuni din sub-suprafață prin poziționarea judicioasă a unor ”defecte” (în cazul unor goluri sau găuri umplute cu un alt material) pentru a modifica nivelul tensiunilor în zona de contact. Pentru a face acest lucru, am folosit, în principal, analiza numerică și fotoelasticimetria în experimente în care ”defectele” sunt poziționate în locuri specifice, prin modificarea dimensiunilor sau naturii lor.

Am amintit mai apoi evoluția tensiunilor în prezența unei găuri și am folosit aceste ecuații pentru a defini condițiile limită impuse și necesare pentru modelul numeric. Confirm buna potrivire între modelele numerice și cele experimentale în cazul unei plăci din policarbonat găurite. În continuare, au fost definite condițiile operatorii invariante pe tot parcursul lucrării, care au permis buna vizualizare a fenomenelor: un orificiu circular de diametru 0,82 mm și o forță normală de 714N, care ne-au permis obținerea unei valori a tensiunii tangențiale maxime situată pe axa z la 2,435 mm în profunzime, deasupra contactului. În aceste condiții, constatăm că pentru $x=0$, evoluția tensiunii de forfecare normalizată cu P_0 , măsurată prin fotoelasticimetrie și cea calculată cu elemente finite sunt echivalente.

Tot în acest capitol am verificat modelul numeric ”umplând” gaura din policarbonat cu alte materiale cu modulul elastic diferit de cel al materialului de bază (o polietilenă și un oțel 100Cr6): rezultatele arată o potrivire bună.

Capitolul apoi continuă cu ceea ce face originalitatea acestei lucrări: determinarea experimentală și numerică câmpului de tensiuni pentru distribuția găurilor în funcție de dimensiunea, poziția și natura diferită a umplerilor. Încep deci prin studiul influenței diametrului găurilor din sub-suprafață. Sunt definite astfel 6 cazuri (inclusiv cazul de referință) pentru o singură configurație de încărcare (forța normală și grosimea probei) prin variația diametrului găurii între 0,1 și 1 mm cu un pas de 0,1 mm. Rezultatele prezentate arată o bună potrivire între încercările numerice și experimentale pentru diferite localizări ale găurilor în corpul polimeric.

Discuția rezultatelor este apoi prezentată: ne interesează valorile maxime în corpul plan, apoi, ceea ce se întâmplă pe axa de simetrie.

În concluzie la acest studiu, am rezumat diferite tendințe într-un tabel și prezentate în figura 2.7, care este foarte instructivă, deoarece arată în mod clar diferențele dintre ceea ce se întâmplă pe axa de simetrie și în corpul plan pentru tensiunea tăietoare normalizată τ_{max} .

În paragraful următor, este prezentată influența poziției găurii de-a lungul axei z. Pozițiile studiate corespund cu 0,5 și 0,75 ori adâncimea corespunzătoare tensiunii de forfecare normalizată τ_{\max} a cazului de referință. Rezultatele sunt prezentate sub forma unor grafice cu bare, care permit o citire ușoară a rezultatelor analizei. Rezultatele arată că, atunci când unul din orificii se află pe axa de simetrie, și în afara poziției de referință, există un efect redus asupra nivelului tensiunilor normalizate. În celelalte cazuri, am demonstrat că efectul localizării pe axa z este aproape nul asupra valorilor de-a lungul axei de simetrie: acest parametru nu pare deci să aibă o influență semnificativă.

În paragraful următor, ne interesăm de cazurile în care găurile sunt umplute cu un material diferit. Două materiale de umplere sunt considerate: PP și oțel 100C6, deci două materiale cu proprietăți mecanice radical diferite încadrate de policarbonat. Acest paragraf se bazează pe o metodologie de analiză a rezultatelor identică cu cea din paragrafele precedente. Principalele rezultate ale acestui studiu de cuplaj de materiale arată că este posibil să se controleze nivelul global al tensiunii de forfecare normalizate τ_{\max} , dar, de asemenea, că umplerea găurilor cu un material mai dur decât cel al matricei va crește nivelul de tensiuni pe axa de simetrie.

Într-o secțiune finală, am studiat efectul cuplajului poziția găurilor/umplerea lor. Un tabel recapitulativ rezumă diferitele contribuții și impactul, pe axa de simetrie respectiv în solid.

Acest capitol se încheie cu o concluzie, în care am propus grafice de tip radar (pentru axa de simetrie și pentru solid), care indică performanțele diferitelor soluții luate în considerare pentru a modifica starea de tensiune în sub-suprafața contactului și propun un coeficient adimensional rezultat din produsul tensiunilor maxime pe axa de simetrie și în solid.

Al treilea și ultimul **capitol** al lucrării este dedicat analizei dinamice de contact. Acesta este un capitol interesant din punct de vedere experimental, deoarece prezintă o nouă metodă de cuplare fotoelasticimetrică și analiza imaginii.

Ca un prim pas printr-o abordare identică cu cea folosită în capitolele anterioare, s-a validat metoda de lucru, prin efectuarea de teste, numeric precum și experimental. Rezultatele arată o corelație bună; doar experimente numerice au fost apoi efectuate. Aceste experimente au fost efectuate pentru poziții și diametre ale găurilor similare cu cele din capitolul 2. Folosind indicatorul definit în capitolul 2, s-au rezumat rezultatele într-o cifră care indică modificările τ_{\max} în timpul alunecării în funcție de poziția contactului, în raport cu originea (contactul în $x=0$, deasupra găurii centrale). Acest indicator variază în funcție de poziția contactului în raport cu găurile: atunci când un singur orificiu este direct sub origine, indicatorul trece printr-un maxim înainte de a scădea pentru a atinge valoarea de referință (fără gaură). Alte scenarii sunt destul de complexe de analizat, dar găsim comportamente destul de asemănătoare.

Manuscrisul se încheie cu o concluzie generală și perspective. Concluzia arată diferitele puncte indicate în rezumat sau concluziile din raport. Abordarea destul de unică ne permite să

pornim de la o abordare analitică și de a o valida experimental și numeric, însă rămânând capabili de a bucla peste cele trei metode. Cunoșcând această abordare, ceea ce am făcut pe polycarbonat va fi posibil de realizat pe materiale care nu sunt transparente, astfel încât, doar prin calcul numeric, de a avea o abordare pe materiale conventionale.

Perspectivile sunt numeroase, cu posibile incursiuni în structurarea sub-suprafețelor cu scopul de a îmbunătăți transmiterea eforturilor, structurare care poate fi realizată fie prin înlăturarea materialului (cazul unei găuri simple), fie prin modificarea locală a naturii materialului (sinterizare selectivă cu laser). Un prim exemplu a fost tratat pe parcursul acestei teze de doctorat, cel al defectelor circulare (în 2D). Într-un alt domeniu, sudura este de asemenea un caz de interes pentru a studia comportamentul cordoanelor de sudură cu defecte de tipul porozităților sau incluziunilor.