

POSSIBILITĂȚI DE UTILIZARE A METODEI ELEMENTELUI FINIT ÎN EVALUAREA REZISTENȚEI LEGĂTURII METALO-CERAMICE

Autori:

Prof. Dr. Ion Pătrașcu*

Dr. Lucian Toma Ciocan*

Dr. Ing. Mihaela Banu**

* Catedra de Propedeutică și Materiale Dentare, Facultatea de Stomatologie, U.M.F. „Carol Davila”, București.

** Catedra de Tehnologie a Construcției de Mașini, Facultatea de Mecanică, Universitatea „Dunărea de Jos”, Galați.

Rezumat:

Premisele cercetării. Odată cu expansiunea domeniului biomecanicii, au fost dezvoltate programe de element finit care să fie aplicabile unor spectre largi de probleme, atât din mecanică, dar mai ales din biologie.

Scopul cercetării. Autorii, pe baza datelor din literatura de specialitate și a cercetărilor personale, și-a propus să evalueze rezistența legăturii fizico-chimice dintre cele două componente ale coroanei mixte metalo-ceramice cu ajutorul metodei de discretizare a corpurilor în elemente finite.

Material și metodă. Pentru a cuantifica adeziunea maselor ceramice la substratul metalic sistemul bimaterial este supus unor diferite tipuri de solicitări mecanice cu ajutorul unor aparate de testare specifice. Dintre aceste metode de testare, am ales experimentul imaginat de Sced și McLean de solicitare a sistemului metalo-ceramic prin forfecare, datorită aproximărilor minime generate în evaluarea rezistenței legăturii metalo-ceramice. Experimentul fizico-mecanic real a fost transpus într-un experiment virtual, de analiză M.E.F. (prin metoda elementelor finite) proiectând parametrii dimensionali originali ai probelor așa cum apar în normele standard acceptate I.S.O. și D.I.N..

Rezultate. După proiectarea epruvetelor și discretizarea în elemente finite cubice, s-au indicat proprietățile de material necesare pentru această evaluare (modulul de elasticitate-Young, coeficientul lui Poisson și tensiunea critică de fracturare). Solicitarea virtuală s-a realizat pentru testarea rezistenței sistemului metalo-ceramic cu utilizarea cea mai largă în acest moment la noi în țară, și anume Sistemul Aliaj RemaniumCS - Masă Ceramică VitaOmega.

Concluzii. Simularea numerică a acestui test a pus în evidență modul de desprindere a părții ceramice de suprafața aliajului. În plus, cu ajutorul M.E.F., putem avea o imagine completă asupra modului de propagare a fisurii, a evoluției zonelor critice cât și a valorilor limită de rezistență a acestei legături.

1. INTRODUCERE

Modelarea numerică cu element finit este o metodă larg utilizată încă din anii '80, cu scopul simulării numerice a unor procese reale și a obținerii unor informații despre modul de desfășurare a unui proces, prin reducerea substanțială a numărului de experimente și a timpului de aflare a răspunsului.

Modelarea numerică a fost aplicată în inginerie, rezolvând probleme de prelucrare mecanică [5]. Odată cu expansiunea domeniului biomecanicii, au fost dezvoltate programe de element finit care să fie aplicabile unor spectre largi de probleme, atât din mecanică, dar mai ales din biologie. Obiectivul global al biomecanicii este de a simula o ființă umană capabilă să realizeze funcțiile sale vitale (Modelling of Human Being Project - Japonia)[3]. Biomecanica este un domeniu interdisciplinar aflat la începuturile sale, iar în aceasta etapă se fac studii ce au ca scop:

crearea modelelor matematice ce guvernează fenomenele reale din corpul uman;

crearea unor modele matematice care să descrie cu precizie ridicată tipurile de materiale întâlnite în corpul uman;

investigarea interacțiunilor dintre diferiții factori ce participă la funcțiile organismului uman.

O ramură a biomecanicii este studiul comportării materialelor noi ce înlocuiesc structurile dure dentare (smâț, dentină, cement). Mecanica aplicată la acest nivel constă în studiul defectelor, a uzurii ce se produce prin înlocuirea structurilor biologice cu materialele sintetice moderne de tip ceramică-metal, precum și a repercursiunilor acestora asupra corpului uman.

În continuare este prezentat testul de studiu al comportării sistemului Remanium C.S. – Placaj ceramic Vita Omega sub acțiunea unor solicitări care evaluează rezistența legăturii dintre cele două componente.

2. OBIECTIVELE MODELĂRII NUMERICE CU AJUTORUL METODEI ELEMENTELOR FINITE

Procedurile de modelare ce utilizează metoda elementului finit sunt, în prezent, foarte larg răspândite în analiza unor procese și fenomene din diferite domenii de cercetare și proiectare, și se așteaptă ca utilizarea acestora să crească semnificativ în următorii ani. Procedura de analiză prin simulare numerică cu element finit este asociată în special cu analiza solidelor deformabile, a structurilor, a schimbului de căldură, a curgerii fluidelor.

Metoda elementului finit a fost inițial dezvoltată, pe baze fizice, pentru analiza unor probleme de structuri mecanice. S-a demonstrat și recunoscut că tehnica poate fi aplicată unor probleme variate.

În figura 1 este prezentată schema de desfășurare a unei proceduri de simulare numerică folosind metoda elementului finit.

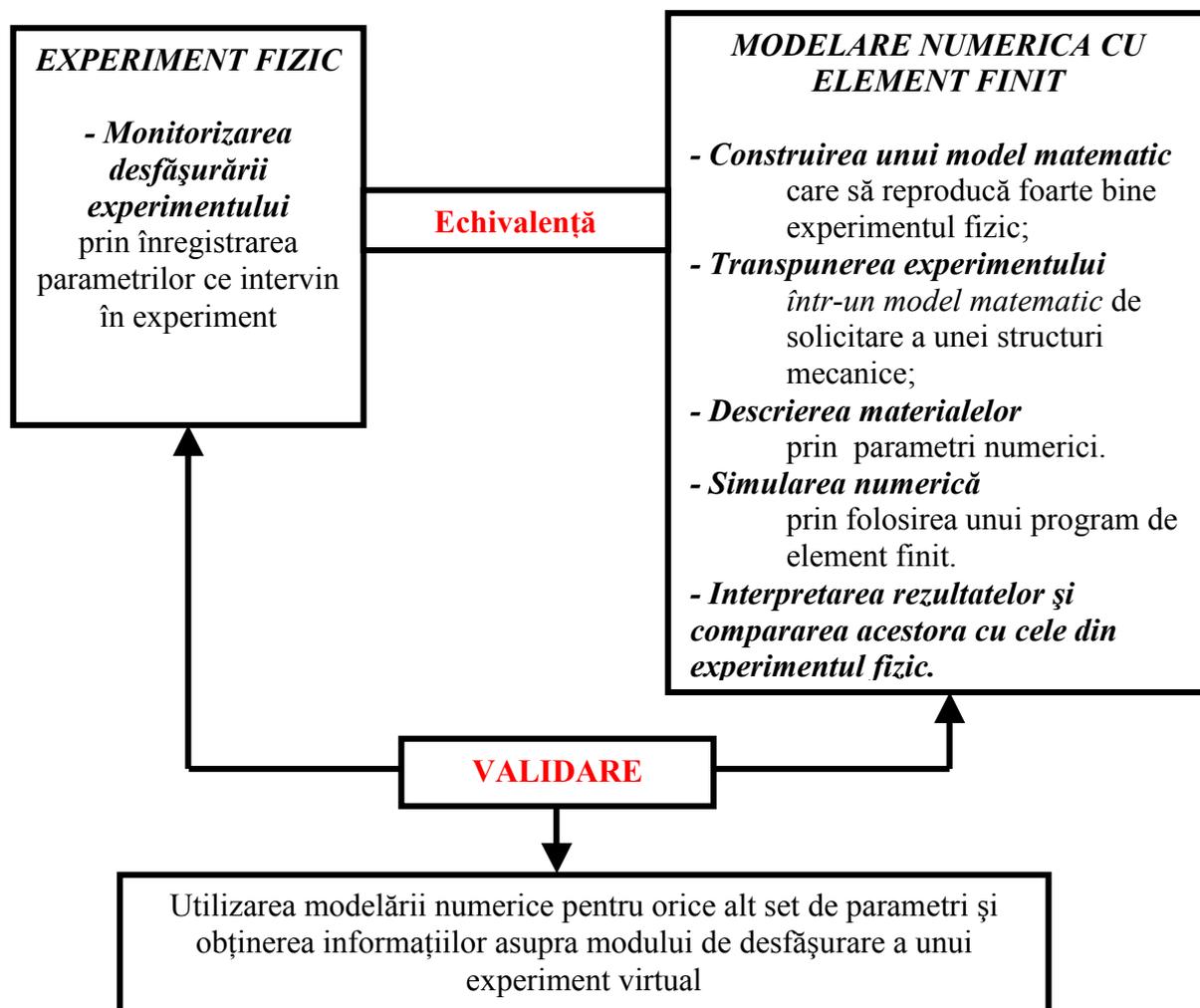


Figura 1: Schema de principiu în utilizarea modelării numerice

Problema de bază ce trebuie rezolvată prin metoda elementului finit este găsirea stărilor de tensiune și a deformațiilor dintr-o structură mecanică supusă acțiunii unor încărcări exterioare. Reprezentarea acestei probleme printr-un model matematic necesită anumite ipoteze care, împreună, duc la rezolvarea unor ecuații diferențiale ce guvernează modelul matematic. Metoda elementului finit rezolvă acest model matematic.

Deoarece rezolvarea prin metoda elementului finit este o soluție numerică, trebuie să se atingă un anumit nivel de precizie al rezultatelor astfel încât soluția să fie satisfăcătoare. Dacă nu se atinge această precizie, atunci procedura este repetată cu parametri rafinați ai soluției, până când se obține o soluție satisfăcătoare.

Soluția dată prin utilizarea metodei elementelor finite va rezolva numai modelul matematic selectat, și astfel, toate ipotezele din acest model se vor reflecta în predicția unui răspuns. Nu se poate obține prin modelare numerică decât informațiile conținute de acel model matematic. Deci, alegerea unui model matematic cât mai adecvat este, în sine, un alt obiectiv al modelării numerice [4].

Utilizarea unui program de element finit în scopul modelării numerice presupune parcurgerea următoarelor etape:

<p>PREPROCESOR</p> <ul style="list-style-type: none">- construirea modelului geometric al testului, prin crearea epruvetei și a elementelor deformatoare;- identificarea geometriei cu suprafețe aparținând unui solid și împărțirea acestora în elemente finite;- descrierea materialelor din care este confecționată epruveta (corp deformabil) prin coeficienți de material: modulul de elasticitate, coeficientul lui Poisson, rezistența la curgere, rezistența la rupere;- descrierea cinematicii testului, prin conducerea procesului de deformare fie după forța cu care se deformează, fie după viteza de deplasare a unui element deformat.
<p>PROCESOR</p> <ul style="list-style-type: none">- rularea programului de element finit, materializată prin obținerea unor imagini ale corpului deformat;
<p>POSTPROCESOR</p> <ul style="list-style-type: none">- analiza stărilor de tensiuni, deformații, a valorilor critice ce duc la apariția defectului;- analiza forțelor și a distribuțiilor de viteze.

3. MATERIAL ȘI METODĂ

Cu ajutorul metodei elementelor finite am încercat să analizăm adeziunea rezistența legăturii metalo-ceramice pentru un caz particular, și anume adeziunea masei ceramice Vita Omega (VITA) la aliajul nenobil Remanium CS (DENTAURUM), sistem cu utilizarea largă, în prezent, la noi în țară. [10] Masa ceramică Vita Omega, făcând parte din clasa maselor ceramice sinterizabile, aderă fizico-chimic de substratul metalic, în acest caz reprezentat de aliajul Ni-Cr modern, specific tehnologiei metalo-ceramice, RemaniumCS.[9] Pentru a cuantifica adeziunea maselor ceramice la substratul metalic sistemul bimaterial este supus unor diferite tipuri de solicitări mecanice cu ajutorul unor aparate de testare specifice.

Dintre aceste metode de testare, am ales modelul fizic experimental imaginat de Sced și McLean de solicitare a sistemului metalo-ceramic prin forfecare, datorită aproximărilor minime generate în evaluarea rezistenței legăturii metalo-ceramice. Experimentul fizico-mecanic real a fost transpus într-un

experiment virtual, de analiză M.E.F. (prin metoda elementelor finite) proiectând parametrii dimensionali originali ai probelor așa cum apar în normele standard acceptate I.S.O. și D.I.N..

Sced și McLean [11] au proiectat un aparat de testare a unei piese extensibilă metalurgic, cu o modificare a regiunii terminale, care a fost realizată sub formă conică pentru a plasa interfața în direcția tensiunii de forfecare maxime. (vezi Figura 2).

Plecând de la acest experiment fizic, pentru a putea analiza comportarea unui bimaternal supus unei acțiuni de compresiune axială [6], [7], [11], am reușit să

modelăm numeric acest test cu ajutorul programului de element finit MARC 3.2. [3]. Modelarea numerică a avut ca scop simularea stărilor de solicitare din experiment pentru a obține informații suplimentare, față de tehnica relativ limitată descrisă de McLean și Sced, cum ar fi zonele critice de apariție a desprinderii porțelanului de pe suprafața metalică precum și modul de apariție și propagare a unei de fractură.

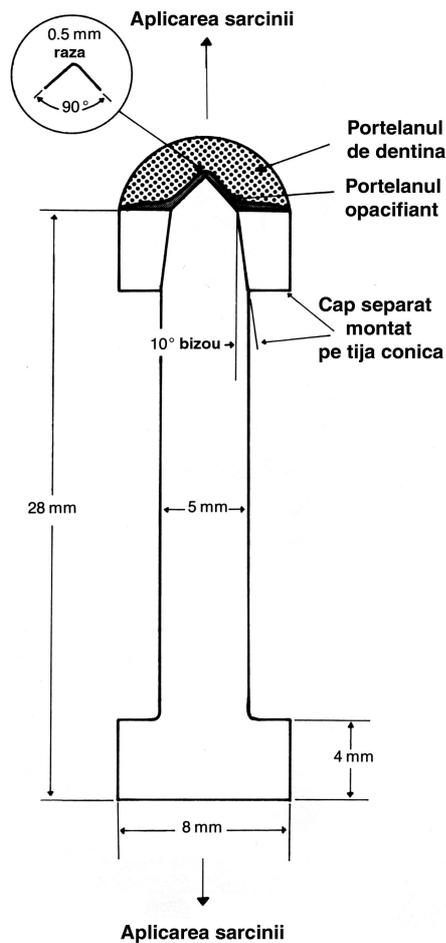


Figura 2: Secțiune transversală: diagrama unei piese testate la întindere pentru a determina rezistența legăturii metalo-ceramice (I.R. Sced, J.W. McLean).

Astfel, utilizând geometria din figura 3, au fost create două teste având condițiile de material și cinematica prezentată în tabelul 1.:

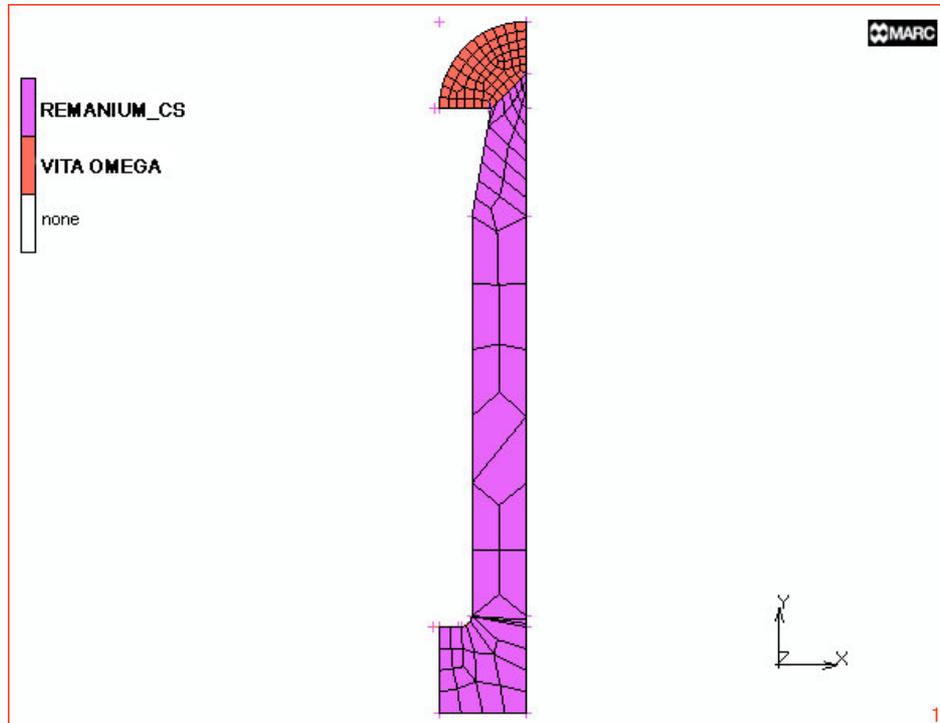


Figura 3.: Descrierea celor două materiale din care este confecționată proba

Tabelul 1

<i>Material</i>	<i>Modul de elasticitate [MPa]</i>	<i>Coeficientul lui Poisson</i>	<i>Tensiune critică de fisurare [MPa]</i>
REMANIUM C.S.	16000	0.3	
VITA OMEGA	82800	0.19	75.9
Viteza de deplasare a bușei de deformare 0.0004 mm/s		Timpul după care apare fisurarea legăturii metal-ceramică 115 s	

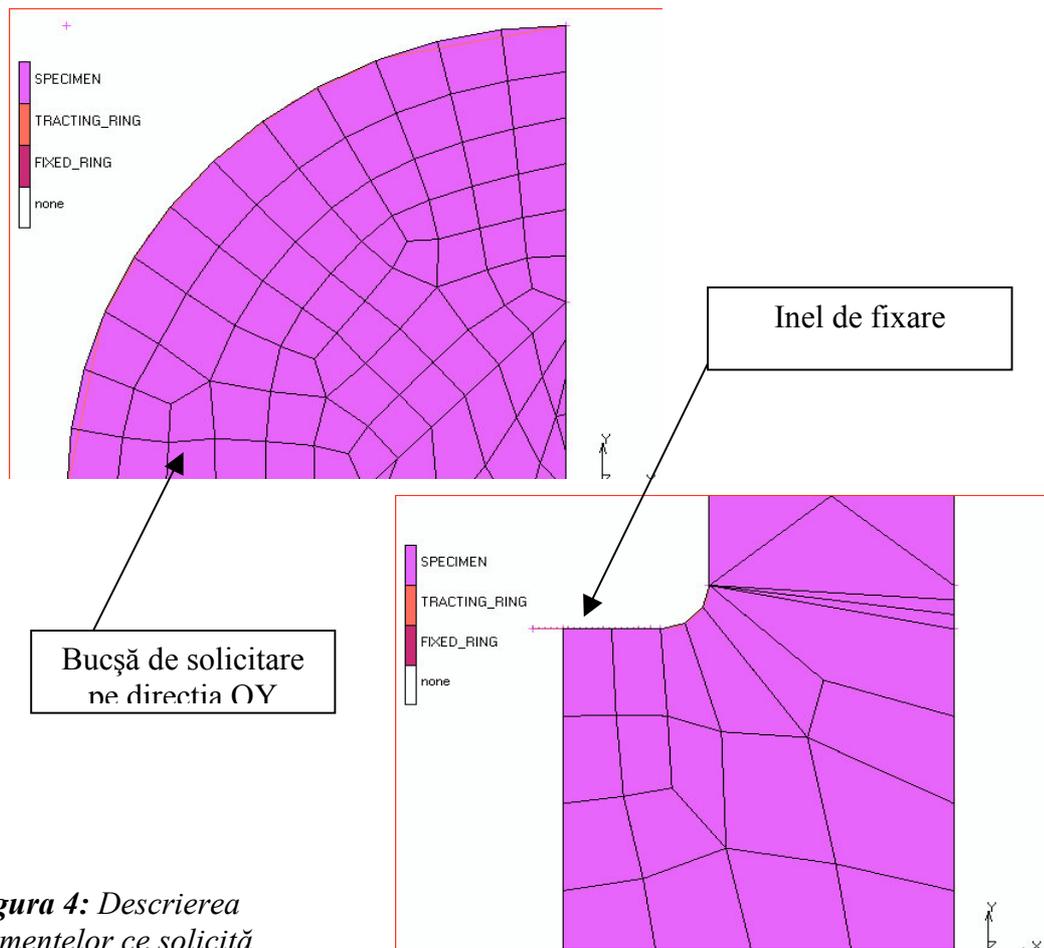


Figura 4: Descrierea elementelor ce solicită proba

La solicitarea unui corp deformabil apar două tipuri de tensiuni, și anume tensiuni normale principale și tensiuni de forfecare. Efectul celor două este diferit, în sensul că tensiunile principale duc la deformații longitudinale, iar cele de forfecare duc la rotații ale particulelor de material.

Durata unui proces de simulare numerică este împărțită în incremente de timp, ce reprezintă o discretizare a timpului de calcul ce se scurge de la inițierea deformării și până la finalul acesteia, când s-a îndeplinit un anumit criteriu de oprire: fie elementul deformațional a terminat cursa de deplasare, fie un material a atins valoarea critică a tensiunii de fisurare, deci s-a fracturat, fie s-au atins valorile maxime admisibile impuse pentru acel material.

4. REZULTATE

În evaluarea noastră, simularea a avut 25 de incremente, din care sunt prezentate - faza inițială - incrementul nr. 1 (vezi figura 5), faza intermediară - incrementul nr. 22 (vezi figura 6), și faza finală - incrementul nr. 25 (vezi figura

7). În figura 4 se observă că deplasarea bușei de deformare induce deformații atât în aliaj cât și în masa ceramică. Culoarea albastră indică modificarea valorilor tensiunilor echivalente față de culoarea verde care este asociată stării de deformații nule. Valorile deformațiilor se pot citi prin intermediul legendei din stânga imaginii; fiecărei culori corespunzându-i, la un moment de timp, o anumită valoare.

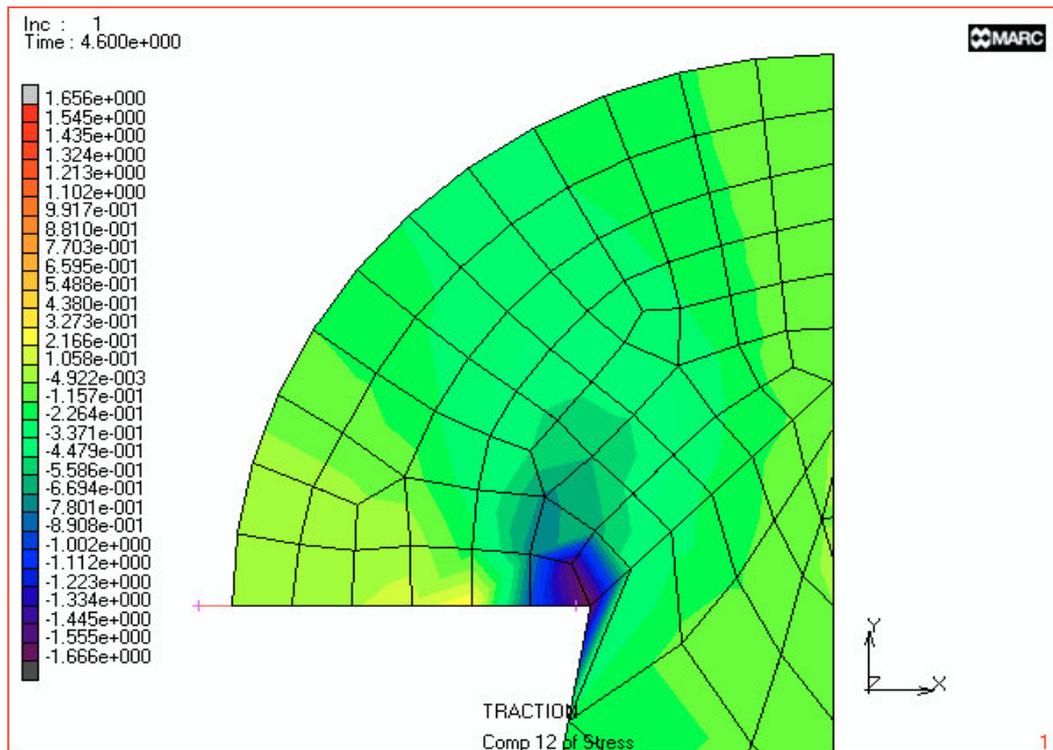


Figura 5.: Starea de tensiuni de forfecare la incrementul nr. 1

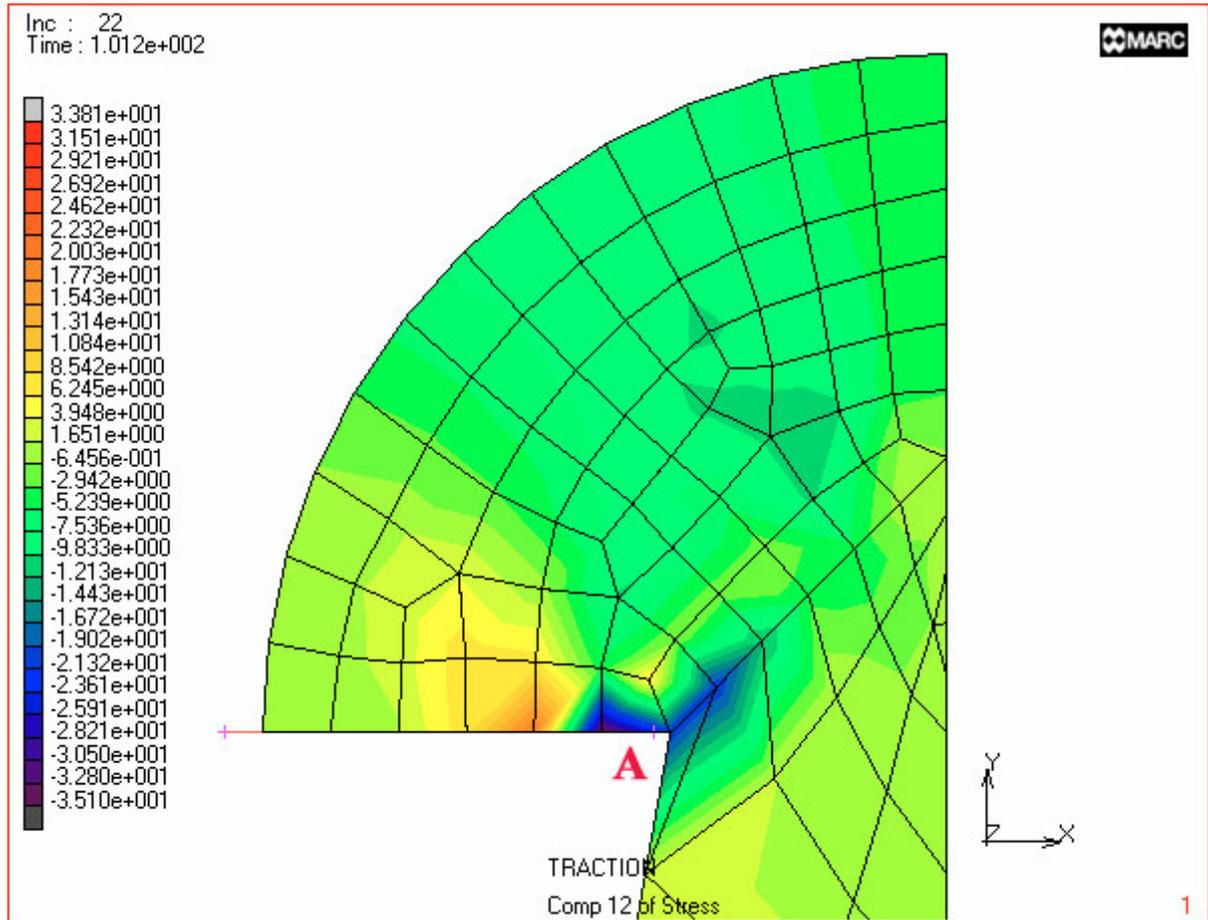


Figura 6.: Starea de tensiuni de forfecare la incrementul nr. 22

În figura 6 se poate observa că desprinderea placajului ceramic de componenta metalică are ca punct de inițiere punctul „A”, în care valorile deformațiilor cresc peste limita admisibilă. Deformația admisibilă se determină prin teste simple de tracțiune aplicate materialelor, în mod independent, din care rezultă curbe tensiuni-deformații. Aceste curbe sunt asociate unui tip de comportare a materialului, și sunt determinate astfel valorile la care un metal devine plastic, apoi se rupe, și respectiv ceramica de placaj se fracturează.

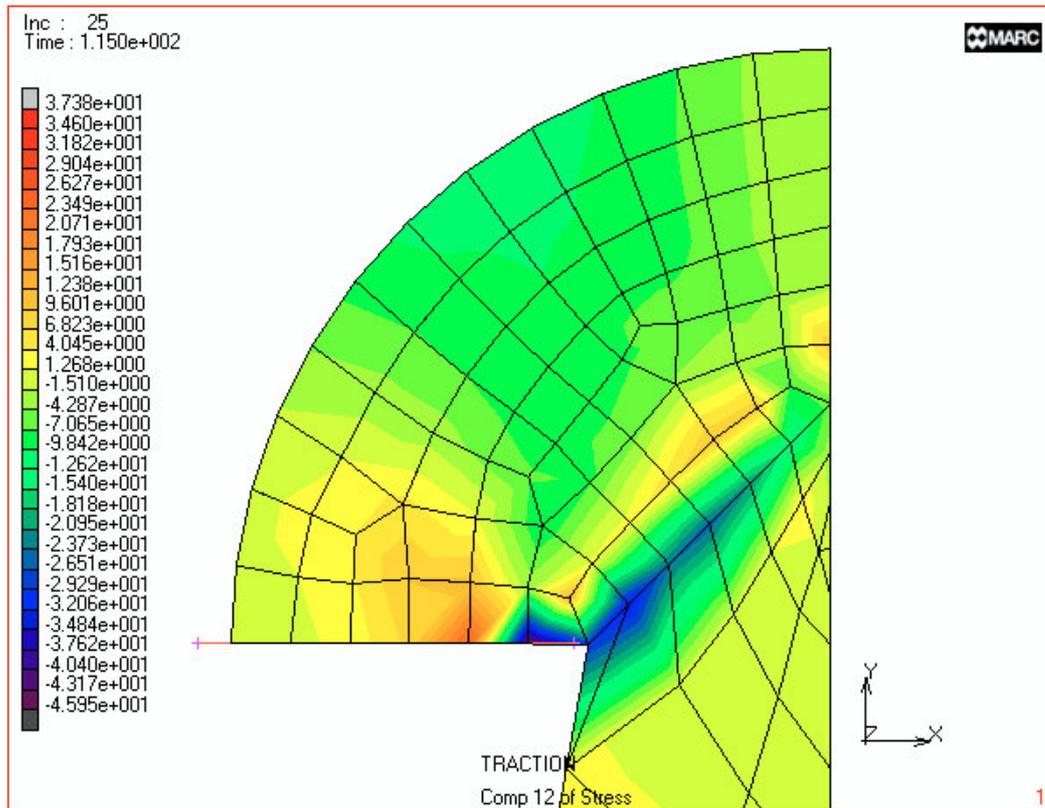


Figura 7: Starea de tensiuni de forfecare la incrementul nr. 25

În figura 7 este prezentat momentul în care fisura s-a propagat la interfața dintre porțelan și metal, la nivelul căreia există un al treilea strat de material hibrid rezultat în urma fuzionării celor două materiale.

Este de remarcă că fisura s-a propagat pe linia pe care a întâlnit rezistența minimă din partea materialului. Valorile deformațiilor ne indică faptul că epruveta s-a fisurat. Programul MARC nu permite vizualizarea desprinderii efective a celor două materiale, încât utilizatorul trebuie să intuiască acest lucru, urmărind legenda izovalorilor deformațiilor sau a tensiunilor[4]. Cu alte cuvinte, materialul s-a deformat la o valoare egală cu valoarea limită la care acesta se rupe.

5. CONCLUZII

Simularea numerică propusă de autori, spre deosebire de varianta fizică descrisă de McLean și Sced, a pus în evidență modul de desprindere a părții ceramice de suprafața aliajului. Prin metoda descrisă se poate crea o imagine completă asupra modului de propagare a fisurii și a evoluției în dinamică a zonelor critice de tensiune de la nivelul legăturii metalo-ceramice, autorii ajungând la următoarele concluzii:

- prin simulare numerică se pot testa o multitudine de variante de materiale, prin prisma caracterizării acestora din punct de vedere al coeficienților de material, însă fără a elabora aceste materiale.
- modelarea prin metoda elementelor finite este un instrument cu avantaje substanțiale în ce privește economia de materiale, de timp de elaborare și testare.
- în principiu, metoda permite și realizarea unor studii de uzură a acestor materiale sub diferite tipuri de solicitări virtuale.
- metoda de simulare virtuală a unei solicitări fizice creează infinite posibilități de evaluare a legăturii pentru alte cupluri bimeriale (metalo-polimerice condiționate sau nu, titan-ceramice, etc).

Summary:

Statement of the problem. Once with development of biomechanics field of study, it have been created finite elements modeling software that could be applied to a variety of problems met in mechanics but also in biology.

Purpose. In this work we were analyzing the physic-chemical adhesion resistance level of the two components of the metal-ceramics crown by finite elements division method.

Materials & Methods. For an accurate measurement of the joint between the sinterizeble ceramic materials and alloys, the bimerial system bears different types of mechanical stress using specific testing devices. From these methods, we have chosen the experiment imagined by Sced and McLean for cutting-stress the metal-ceramic system, due to the minimal approximation in evaluating the metal-ceramics joint adhesion degree. The real mechanical experiment was translate into a virtual one, with F.E.M. (finite element method), by projecting the original dimension of the samples in the same manner they appear in the standard accepted norms I.S.O. and D.I.N..

Results. After probes designing and division in cubic finite elements, were indicated the materials proprieties necessary for this test (Young Elasticity Modulus, Poisson Value and Crack Resistance Level). The virtual stress was applied upon the largely used in our country, the Remanium CS Alloy – Vita Omega Ceramic Material System.

Conclusions. This test simulation underlines the type of metal-ceramic adhesion failure. Also, by F.E.M., one could understand the mode of fracture propagation, the critical areas evolution and, not least, the resistance degree of metal-ceramic bond.

Bibliografie

- [1] **Anusavice K.J.** – *Phillips Science of Dental Materials*, WBSaunders Co., 1996;
- [2] *** ***Biomechanical Conference Proceeding***, Editor Akitake Makinouchi, RIKEN, Tokyo, Japan, 1999.
- [3] *** ***MARC - User's Guide***, MARC Analyses Research Corporation, 1996.
- [4] **Bathe K. J.** - *Finite Element Procedures*, Prentice - Hall International, Inc., ISBN 0-13 - 349679 - X, 1996;
- [5] **Flinn R., Trojan P.** – *Engineering Materials and Their Applications*, 3rd edition, Boston, MA, Houghton Mifflin Co., 116-169, 1986;
- [6] **McLean J. W., Sced I. R.** – *The Base Metal Alloy-Porcelain Bond*, Trans. Brit. Ceram. Soc., 5:235, 1973;
- [7] **McLean, John** – *The Science and Art of Dental Ceramics*, Quintessence Publ. Co., Chicago, vol II, 1980;
- [8] **Noart R.** – *Introduction to Dental Materials*, 2nd Edition, Mosby, 2002.
- [9] **Pătrașcu I.** – *Tehnologia Aliajelor Dentare*, Libripres, București, 2002;
- [10] **Pătrașcu & colab.** – *Materiale Dentare – Lucrări Practice*, Horanda Press, București, 2002;
- [11] **Sced I. R., McLean J. W., Hotz P.** – *The Strengthening of Aluminous Porcelain with Bonded Platinum Foils*, J. Dent. Res. 36:1067., 1977.