

Estudo dos mecanismos de fratura de um cimento dentário resinoso biocompatível

Mildred Ballin Hecke, Bioengenharia – CESEC/PPGMNE, e-mail: mildred@ufpr.br,
home page: <http://www.cesec.ufpr.br/bioengenharia>

Ana Paula Gebert de Oliveira Franco, Bioengenharia – CESEC, e Doutorado em Odontologia da PUC-PR
e-mail: anapaula.gebert@gmail.com home page: <http://www.cesec.ufpr.br/bioengenharia>

Felipe R. de Almeida, Bioengenharia – CESEC/ PPGMNE, e-mail: recka.bioengenharia@gmail.com,
home page: : <http://www.cesec.ufpr.br/bioengenharia>

Palavras-chave: Critérios de Fratura, Dano, Cimento resinoso biocompatível

Introdução

Na odontologia atual, onde pacientes priorizam a estética do sorriso, passaram a ser desenvolvidos materiais livres de metal para restauração dos elementos dentários cariados ou fraturados. Os materiais restauradores podem ser de utilização direta pelo cirurgião-dentista ou indireta, confeccionados por meio de laboratório protético. Os materiais indiretos e os pinos de reforço intra-radulares estéticos necessitam ser aderidos à estrutura dentária por meio de agentes de cimentação resinosos. Esses materiais, quando em meio bucal, são comumente requisitados pela função mastigatória que geram tensões de tração, compressão e cisalhamento. As fraturas dos materiais geralmente estão relacionadas às tensões e deformações geradas em função das cargas aplicadas, podendo ocorrer quando as mesmas excedem a resistência que o material suporta ou até mesmo por fadiga, onde as cargas não excedem a capacidade dos materiais, porém ocorre um enfraquecimento progressivo e localizado do material que está submetido a cargas dinâmicas ou repetidas.

A medida da resistência mecânica pode ser feita por vários métodos e técnicas experimentais. Em geral, cimentos resinosos apresentam um comportamento distinto na tração (“*tensile stresses*”) e na compressão (“*compression stresses*”). Portanto, os ensaios utilizados para a determinação dos referidos critérios deverão avaliar os dois estados de maneira distinta. O presente trabalho tem por objetivo sugerir um critério de fratura para um cimento resinoso biocompatível Cement-Post (Angelus®) quando submetido a estados complexos de tensões sendo que a perda de resistência devido aos micro-defeitos são incluídos no modelo através de uma variável interna associada ao dano. Esse critério foi obtido a partir de resultados de ensaios de tração direta, compressão diametral e compressão uni-axial.

Materiais e métodos

Para o ensaio de tração direta (ASTM D 638M-96), foram confeccionados 5 corpos-de-prova de cimento Cement-Post (Angelus®)* com o formato de

ampulheta por meio de moldes de silicone de adição. Após a confecção dos corpos-de-prova, os mesmos foram armazenados em umidade constante relativa por 24 horas e submetidas ao teste de resistência à tração em uma Máquina de Ensaios Universal Instron com uma célula de carga de 100N a uma velocidade de 1,0 mm/min até a falha ocorrer, com as garras do equipamento a uma distância de 20 mm entre si.

Para o ensaio de compressão diametral (Brazilian Test- NBR-7222-94) foram confeccionados 10 corpos-de-prova cilíndricos a partir de matrizes de nylon com diâmetro de 8 mm e altura de 2 mm. As amostras também foram armazenadas em umidade relativa constante por 24 hs e submetidas ao ensaio de compressão diametral a uma velocidade de 1mm/min até sua falha.

Para a compressão uni-axial (ASTM B695-02^a) foram confeccionadas 10 amostras de 8 mm de altura por 4 mm de diâmetro por meio de matrizes de nylon. As amostras foram armazenadas 24 hs em umidade relativa constante e submetidas ao ensaio de compressão a uma velocidade de 0,1 mm/min até ruptura.

Para a construção do critério de resistência de Mohr-Coulomb, os diversos resultados dos ensaios foram representados em um plano contendo na abcissa os esforços normais e na ordenada os esforços tangenciais (σ , τ) e foram traçados três círculos (círculos de Mohr) a partir dos resultados dos ensaios de tração, compressão e compressão diametral que permitem a representação de estados tridimensionais que atuam em um ponto dado de um corpo mecanicamente carregado.

Discussão dos resultados

Com relação ao comportamento à tração do cimento analisado, o primeiro resultado dos ensaios acima descritos permitiu obter distintos valores para as tensões limite de resistência na tração nos diferentes ensaios ($\sigma_{ult}^+ = 35,352 \pm 3,558 MPa$ no ensaio de tração direta, $\sigma_{ult}^+ = 38,57 \pm 7,08 MPa$ no ensaio de compressão diametral), que podem ser interpretados à luz da análise dos diferentes mecanismos de ruptura desenvolvidos nos ensaios anteriormente citados.

Para a construção das curvas referentes ao critério de resistência de Mohr-Coulomb, os diversos estados de tensão foram representados em um plano contendo

* Cement-Post (Lote nº 6425).

na abscissa os esforços normais e na ordenada, os esforços tangenciais (σ , τ). Tensões normais de compressão serão consideradas positivas neste trabalho para coincidir com a notação usual utilizada nesse critério para a análise de solos e rochas (materiais granulares). Estados uni-axiais de tensão (como os obtidos nos ensaios de tração direta e compressão uni-axial) possuem apenas uma tensão principal diferente de zero ($\sigma_1 = \sigma_t = \sigma^+$, $\sigma_2 = 0$ e $\sigma_3 = \sigma_c = \sigma^-$) e podem ser representados como círculos conforme mostra esquematicamente a Fig. 1.

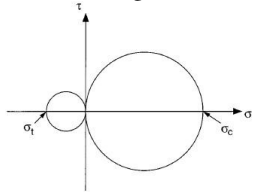


Fig. 1 Representação de estados uni-axiais de tração e compressão através de círculos de Mohr.

No critério de Mohr-Coulomb, a ruptura do material é expressa pela relação entre a tensão normal com a tensão de corte. A expressão matemática que exprime a condição da ruptura é:

$$f(\sigma) = c + \sigma g(\phi_i) \quad (1)$$

onde c = coesão e ϕ_i = ângulo de atrito interno. Utilizando-se os resultados dos ensaios acima descritos, consegue-se identificar diferentes curvas para o material em estudo. A primeira delas refere-se ao material íntegro e representa o limite para as relações lineares. Nesse caso, identificam-se tais constantes como $c=9,04MPa$ e $\phi_i = 32^\circ$. A segunda, refere-se ao material totalmente danificado e representa o limite para a ruptura, e nesse caso, $c=31,09MPa$ e $\phi_i = 33^\circ$.

Propõe-se ainda que a alteração entre as duas superfícies leve em conta o amolecimento sofrido devido ao dano, como os sugeridos pela Mecânica do Dano e cuja expressão matemática é proposta por Tao & Phillips [6]

$$\alpha_d(A^d) = 1 - \frac{1}{1 + [m(A^d - A_0^d)]^n} \quad (2)$$

onde $\alpha_d(A^d)$ é a variável interna associada à perda de rigidez, A^d a força termodinâmica associada à perda de rigidez, A_0^d valor da força termodinâmica onde se iniciam os processos inelásticos e m e n , as constantes ajustadas através dos resultados experimentais acima descritos. Tal implementação encontra-se devidamente proposta e apresentada em Almeida *et al* [7] e na dissertação de mestrado de um dos autores do presente trabalho (Almeida [8]).

Comentários finais

Dentro das limitações do presente trabalho é possível concluir:

1. Cimentos resinosos utilizados na bioengenharia são materiais com comportamento parcialmente frágil, cujo mecanismo de rearranjo celular deve ser considerado na escolha do critério de fratura a ser adotado.

2. O comportamento dos cimentos resinosos biocompatíveis na tração difere do comportamento na compressão, razão pela qual deverão ser adotados diferentes critérios de fratura para esses estados.

3. Para corpos submetidos a estados complexos de tensão (2D e 3D) sugere-se o uso de critérios de ruptura normalmente utilizados para materiais porosos, que consideram as tensões principais e que possam levar em conta o amolecimento sofrido devido ao dano, como os sugeridos pela Mecânica do Dano.

4. Os critérios de fratura clássicos, usados para metais, tais como Tresca ou Von Mises não descrevem exatamente o comportamento dos cimentos. Em particular, esses critérios prevêem a mesma resistência na tração e na compressão e resistência infinita para a tensão hidrostática, que são incompatíveis com os resultados experimentais observados.

5. A utilização de ensaios de tração direta, compressão diametral e compressão uni-axial, testes esses de fácil execução, permitiram a medida do módulo de elasticidade (E_t e E_c) e da resistência mecânica (tensão limite de linearidade σ_{lim}^\pm e tensão de ruptura σ_{rum}^\pm) na tração e compressão. A representação dos círculos de Mohr dos estados da fratura nos permite a compreensão dos diferentes mecanismos de ruptura.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Araucária, ao CNPq e à CAPES pelo financiamento da pesquisa.

Bibliografia

- [1] Pittet, C.; Lemaître J.; "Mechanical Characterisation of Brushite Cements: A Mohr Circles' Approach". J Biomed Mater Res (Appl. Biomater), 53, 769-80, 2000.
- [2] Watanabea, H.; Khera, S. C.; Vargas M. A.; Qian F.; "Fracture toughness comparison of six resin composites", Dental Materials, 24, 418-425, 2008.
- [3] Goodman, R. E.; "Introduction to Rock Mechanics", 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 1989.
- [4] Timoshenko, S. P.; Goodier, J. N.; "Theory of Elasticity", 3rd ed., McGraw-Hill, New York, 1970.
- [5] Charrière, E., Terrazoni, S., Pittet, C., Mordasini, Ph., Dutoit, M., Lemaître, J., Zysset Ph.; "Mechanical Characterisation of Brushite and Hydroxyapatite Cements". Biomaterials, 22, 2937-45, 2001.
- [6] Tao, X. and Phillips, D. V., "A simplified isotropic damage model for concrete under bi-axial stress states". Cement and Concrete Composites, 27, 6, 716-26, 2005.
- [7] Almeida, F. R., Hecke, M. B., Machado, R. D., Oliveira Franco, A. P. G., "Formulação constitutiva da perda de rigidez das interfaces pino-cimento-dentina no tratamento endodôntico utilizando potenciais termodinâmicos". Cilamce-2008, 2008.
- [8] Almeida, F. R., "Formulação constitutiva de perda de rigidez de interfaces utilizando potenciais termodinâmicos generalizados". dissertação apresentada ao PPGMNE-UFPr, 2009.