

ANÁLISE DE FALHA POR FRATURA EM DISPOSITIVO ODONTOLÓGICO DE AÇO INOXIDÁVEL AISI 420

M. A. M. de Oliveira, P. Kessler, M. G. Diniz

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Fonseca Telles 121, Rio de Janeiro, Brasil – diniz@uerj.br

RESUMO

O objetivo da presente investigação foi analisar uma falha por fratura ocorrida em um dispositivo de uso odontológico de aço inoxidável AISI 420 conhecido como grampo de isolamento absoluto. A análise foi feita em um grampo fraturado obtido a partir de uma fita de aço inoxidável com denominação AISI 420 conforme especificação da ARMCO do Brasil S. A., laminada a frio. Foram utilizadas técnicas de caracterização que incluíram inspeção visual, análise macroscópica, microscopia óptica (MO), microscopia eletrônica de varredura (MEV), análise química semi-quantitativa por EDS (espectroscopia de energia dispersiva) e testes de microdureza Vickers (HV). Análise química por EDS, medidas de dureza e análise microestrutural metalográfica mostraram que o dispositivo encontrava-se dentro do especificado pelo fabricante. A falha foi caracterizada como um mecanismo de fratura dúctil. A partir dos estudos realizados, pôde-se concluir que a falha ocorreu devido a uma sobrecarga no componente.

Palavras-chave: Fratura dúctil, Aço AISI 420, Técnicas de caracterização, Dispositivo odontológico.

INTRODUÇÃO

Analisar uma falha é um processo que consiste em coletar e interpretar as evidências de danos no material e de agentes provocadores destes danos. É necessário compreender as possíveis situações que levaram à sua ocorrência para que sejam evitadas falhas futuras. A fratura é um tipo comum de falha, entretanto, os motivos podem ser variados e existe grande trabalho investigativo envolvido. Algumas vezes o processo não irá terminar com uma conclusão livre de dúvidas^{(1) (2)}.

Existem dezenas de biomateriais e dispositivos odontológicos fabricados de aço inoxidável. Biomateriais odontológicos de aço devem possuir elevada resistência à corrosão em meio bucal e são usados em aplicações temporárias. O

aço inoxidável AISI 420 possui excelente resistência à corrosão em ambiente saliva e também quando submetido a processos de esterilização em autoclave⁽³⁾ (4).

O dispositivo odontológico conhecido como grampo para isolamento absoluto, fabricado com aço AISI 420, tem entre os principais objetivos controlar a umidade durante procedimentos clínicos, a proteção do paciente e do profissional. É instalado com o auxílio de um alicate que é montado nos orifícios do referido grampo permitindo a abertura de suas asas e a instalação do mesmo no local de interesse. A Fig. 1 esquematiza e identifica as partes principais de um grampo de isolamento absoluto⁽⁵⁾ (6).

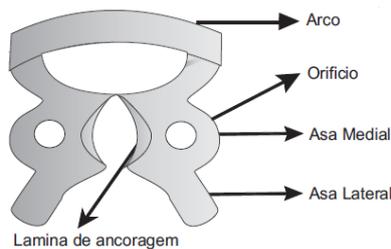


Fig. 1- Principais partes de um grampo de isolamento⁽⁷⁾.

O objetivo deste trabalho foi analisar um grampo de isolamento absoluto de aço AISI 420 fraturado e que foi devolvido ao serviço de atendimento ao consumidor do fabricante⁽⁶⁾. O profissional da área odontológica que o devolveu, buscava respostas sobre o que teria provocado a falha um mês após aquisição do grampo. A investigação também foi motivada pela oportunidade do início para análises futuras mais aprofundadas, de um número maior de falhas, seus mecanismos, a partir da caracterização de uma falha, incluindo análise do material *versus* processo de fabricação. A elevada frequência de utilização destes grampos de isolamento absoluto nas clínicas da Faculdade de Odontologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Brasil, tanto por alunos quanto por Professores do curso de Odontologia, geram controvérsias entre a qualidade do material e / ou um provável uso indevido, isto é, a utilização fora do protocolo de esterilização e uso sugeridos⁽⁸⁾.

MATERIAIS E MÉTODOS

O grampo fraturado foi obtido a partir de uma fita de aço inoxidável com denominação AISI 420 laminada a frio e a especificação do material de acordo com o fornecedor é apresentada na Tab. 1.

Tab. 1 – Composição química (% em peso) do aço inoxidável martensítico AISI 420 conforme especificação da ARMO do Brasil S. A.⁽⁹⁾.

| C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | N |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| 0,327 | 0,280 | 0,500 | 0,023 | 0,002 | 12,090 | 0,160 | 0,0095 |

O processo de fabricação do grampo de isolamento absoluto consiste nas etapas principais de corte da chapa laminada, usinagem de furos, limpeza, têmpera, revenido, ensaios do comportamento mecânico por amostragem na linha de produção e gravação à laser do número de classificação do fabricante⁽⁶⁾.

A fratura ocorreu conforme Fig. 2. O tipo de grampo fraturado possuía 16mm de largura de abertura do arco e 1mm de espessura, classificado pelo fabricante como grampo de isolamento número 220⁽⁶⁾.



Fig. 2 – Grampo fraturado (esquerda) e um grampo do mesmo tipo sem fratura (direita).

Foram utilizadas técnicas de caracterização metalúrgica e mecânica de materiais, a fim de avaliar os mecanismos de falha. A metodologia incluiu etapas de inspeção visual e obtenção de imagens macroscópicas (estereoscópio Discovery V8 Zeiss), preparação metalográfica (embutimento, lixamento, polimento e ataque químico com reagente Villela por 5 segundos) para obtenção de aspectos micrográficos através de um microscópio Zeiss, modelo Axio lab. A1, obtenção de aspectos fractográficos num MEV JEOL, modelo JSM-6510LV operando no modo elétrons secundários, 20kV – 80 μ A e análise química semi quantitativa por detector EDS com precisão de 0,3%. A análise de EDS foi realizada em três regiões significativas da superfície fraturada.

Onze medidas de microdureza Vickers (HV) foram feitas através de um microdurômetro PanTec TM modelo HXD 1000, com carga de 300Kgf e 10 segundos de aplicação, tudo segundo a norma ISO 6507-1 e sobre amostra preparada através de técnicas metalográficas⁽¹⁰⁾.

RESULTADOS

A Fig. 3 apresenta o aspecto macroscópico da superfície fraturada. Foram observadas algumas ranhuras e certa deformação plástica que teve provável início na ponta esquerda do grampo. Estas observações levaram a um início das análises fractográficas na referida ponta esquerda da superfície fraturada e avançaram até o lado oposto (ponta direita).

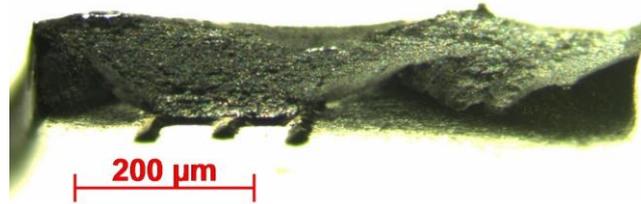


Fig. 3 – Aspecto macroscópico obtido para a superfície fraturada do grampo.

A Fig. 4 apresenta também um aspecto macroscópico da superfície fraturada, mas obtido por MEV e com as regiões que foram submetidas à análise para obtenção de aspectos fractográficos e medidas de EDS.

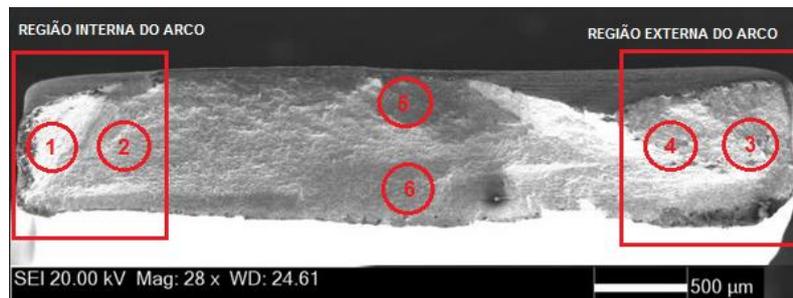


Fig. 4 – Superfície fraturada e regiões submetidas à análise: sub-regiões 1, 2, 3, 4, 5 e 6 destacadas na imagem.

A Fig. 5 apresenta detalhes do aspecto da região definida como interna pela Fig. 4 (lado esquerdo, sub-região 1). A Fig. 6 apresenta detalhes da sub-região 6, região mais central da superfície fraturada conforme Fig. 4.

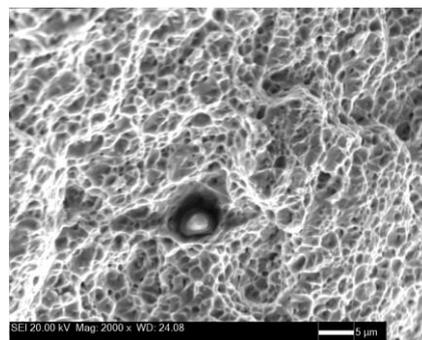


Fig. 5 – Superfície fraturada, sub-região 1 na Figura 4. Presença de *dimples* esféricos e mecanismo de fratura dúctil com carregamento principal perpendicular à superfície fraturada. 2000X, modo SE (elétrons secundários).

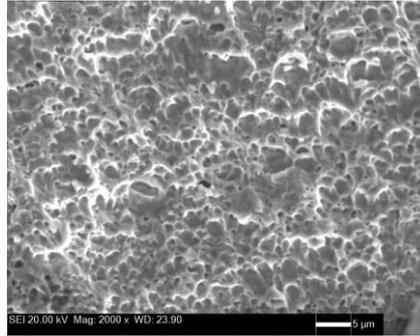


Fig. 6 – Superfície fraturada, sub-região 6 na Figura 4. Presença de *dimples* levemente elípticos mesclados aos *dimples* esféricos. 2000X, modo SE.

A Fig. 7 exemplifica todos os resultados obtidos para a análise química por EDS do material fraturado. A Fig. 8 exemplifica todos os resultados obtidos para os aspectos micrográficos /microestruturais do material ao MO.

O valor médio obtido para a microdureza foi de $398 \pm 18,23$ HV.

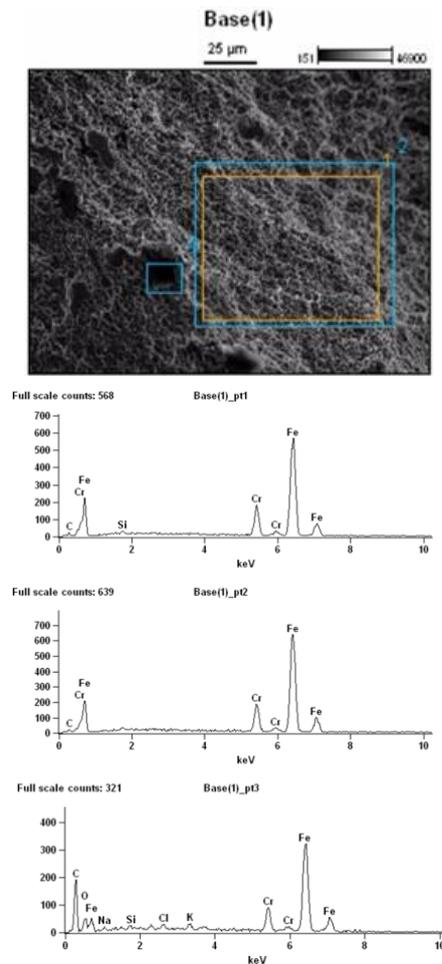


Fig. 7 – Espectros de EDS obtidos para as regiões em destaque (sub-região 1 da Fig. 4). Nota-se a presença de energias características para os elementos Fe, Cr e Si, este último em menor intensidade. Elementos como Na, Cl e K são apenas impurezas contaminantes na superfície da amostra.

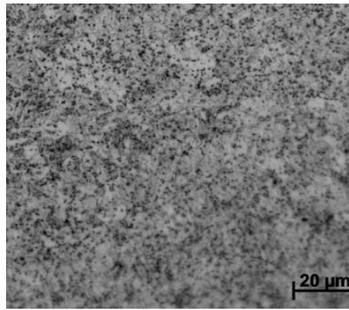


Fig. 8 – Aspecto micrográfico com aumento de 500X. Os pontos mais escuros são carbonetos finamente distribuídos na matriz. Ataque: reagente Villela.

DISCUSSÃO

O aspecto fractográfico obtido o da superfície fraturada (Fig. 5) com elevados graus de magnificação, apresenta aspectos de um mecanismo de fratura dúctil e a presença de inúmeros *dimples* esféricos. A região definida como externa da superfície fraturada (lado direito, sub-regiões 3 e 4 da Fig. 4) apresentou resultados semelhantes, bem como a região mais central da superfície fraturada (subregiões 5 e 6 da Fig. 4). Todas as regiões analisadas apresentaram aspectos de mecanismo de fratura dúctil e inúmeros *dimples*. Eles estão associados à absorção de quantidade significativa de energia antes da fratura, o que significa que o material sofreu deformação plástica intensa antes de fraturar^{(11) (12)}.

A região mais central da superfície fraturada apresentou *dimples* esféricos mesclados com *dimples* suavemente elípticos (Fig. 6). Estes últimos são elementos morfológicos típicos de fratura dúctil com carregamento já mais elevado e, portanto, identificam a parte final do processo de fratura⁽¹¹⁾. Por todas as regiões da superfície de fratura não foram observadas inclusões, tão pouco quaisquer indícios de corrosão ou processo de fadiga que possam ter provocado a falha^{(13) (14)}.

Foram identificadas, de acordo com o resultado do EDS (Fig. 7), as presenças significativas de Fe, Cr e Si. Isto está de acordo com a composição química especificada para o material (Tab.1). Todas as sub-regiões delimitadas na Fig. 4 foram analisadas e apresentaram os mesmos resultados.

O aço apresentou matriz de martensita revenida entremeada por pequenos carbonetos homogeneamente distribuídos (Fig. 8). A microestrutura obtida também está de acordo com a especificação e, portanto, os carbonetos assim distribuídos não poderiam ter provocado uma má distribuição de tensões no material.

Segundo a especificação o valor de dureza deve girar no entorno de 373 HV. A diferença entre o valor especificado e o obtido foi de 6,3%, uma diferença considerada pequena em relação ao que determina a norma ISO 6507-1⁽¹⁰⁾. Assim, os resultados obtidos para a microdureza estão de acordo com a especificação do material, tal como ocorreu com a análise química e com os aspectos microestruturais.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostraram que o material se apresentou dentro do especificado para uso como dispositivo odontológico conhecido como grampo para isolamento absoluto. Não foram identificadas falhas pré-existentes ou quaisquer outros motivos relacionados ao processo de fabricação ou projeto que tivessem levado à ocorrência da falha. Muito provavelmente o mecanismo de fratura dúctil ocorreu devido à sobrecarga, isto é, um carregamento acima do limite de escoamento do material durante sua utilização.

Durante o processo de análise desta falha foi feita uma pesquisa qualitativa envolvendo cinco pesquisadores da Faculdade de Odontologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil⁽⁸⁾. Eles foram questionados sobre as condições de uso de grampos de isolamento absoluto em duas disciplinas nas quais alunos realizam atividades de clínica médica junto à população local. Foram estimados 660 atendimentos / ano que utilizam grampos de isolamento absoluto de mesma marca aqui analisada e todos concordaram que estes grampos, quando utilizados segundo o protocolo médico recomendado, duram entre 15-30 anos. Uma sugestão para se evitar esse tipo de falha seria não abrir excessivamente o grampo para fixá-lo ao dente e que o profissional se certifique que o grampo seja adequado para arcada superior ou inferior e de tamanho compatível para a função.

REFERÊNCIAS

1. SCUTTI, J. J., MCBRINE, W. J. Engineering aspects of failure and prevention. In Metals Handbook. Failure analysis and prevention. 9th ed.; 2002. p. 14.
2. CLEGG R. Case studies in Engineering Failure Analysis. In.: Editorial; 2013.
3. RATNER, B. D., HOFFMAN, A., SCHOEN, F. J., LEMONS, J. E. Biomaterials Science, An introduction to materials in medicine. In. USA: Academic Press; 1996.
4. Matos IC, Bastos IN, Diniz MG and Miranda MS. Corrosion in artificial saliva of a Ni-Cr based dental alloy joined by TIG welding and conventional brazing. The Journal of Prosthetic Dentistry. 2015 Agosto.
5. Castro FLA, Reges RV, Campos, BB, Pazinato, FB, Marra, J, Bruno, KF. Improving patient care: alternative rubber dam isolation methods. Revista Odontologia Brasileira Central. 2012.
6. SSWHITE/DUFLEX Produtos e Instrumentos, Tabela de grampos. [Online]. [cited 2015 October 8. Available from: <http://www.sswwhite.com.br/produtos.php/>.
7. PRISMA, Tabela de grampos para isolamento. [Online]. [cited 2016 March 9.

Available from: http://www.prismaodonto.com.br/tabelas/tabela_grampo.pdf.

8. FACULDADE DE ODONTOLOGIA, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. [Online]. [cited 2016 March 9. Available from: <http://www.odontologia.uerj.br/fouerj/>.
9. ARMCO do Brasil S. A. [Online]. [cited 2015 September 10. Available from: http://www.armco.com.br/wp/wp-content/uploads/2011/09/AcosInoxidaveis_tabelaequivalencia.pdf.
10. ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, NM ISO 6507-1, Materiais metálicos - Ensaio de dureza Vickers Parte 1: Método de ensaio Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas; 2008.
11. MANWATKAR, S.K., NARAYANAN, P. R. Case Studies in Engineering Failure Analysis. 2015 April: p. 1-9.
12. DONALD, R. A. The Science and Engineering of Materials. 3rd ed.: PWS Publishing Company Boston; 1994.
13. KUSMONO, M. N. I. Analysis of internal corrosion in subsea oil pipeline. Case Studies in Engineering Failure Analysis. In.; 2014. p. 1-8.
14. EL-BATAHGY, A. M., FAYTHY, G. Fatigue failure of thermowells in feed gas supply downstream pipeline at a natural gas production plant. Case Studies in Engineering Failure Analysis. 2013: p. 78-85.

FAILURE ANALYSIS OF FRACTURE IN THE CLAMP BOW OF THE TOOTH CLAMP AISI 420 STAINLESS STEEL

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze a fracture of an AISI 420 stainless steel dental device, known as rubber dam clamp. The analyses was done on a fractured rubber dam clump obtained from a stainless steel band with AISI 420 denomination as specified by ARMCO of Brazil S.A., cold-rolled. For this analyses, characterization techniques were used which included visual inspection, macroscopic analysis, optical microscopy, scanning electron microscopy, semi-quantitative chemical analysis by (EDS) Energy Dispersive Spectroscopy and Vickers hardness testing (HV). The Chemical analysis by EDS, the hardness measurements and metallographic microstructure analysis showed that the device was within specified by the manufacturer. The failure was characterized as a ductile fracture mechanism. It was concluded that the failure was due to an overload on the component.

Keywords: Ductile fracture, AISI 420 steel, Characterization techniques, Dental device.