

ANÁLISE DE FALHA DE TORQUÍMETROS CIRÚRGICOS¹

Cássio Barbosa²
Tatiana Silva Barros²
Jôneo Lopes do Nascimento²
Ibrahim de Cerqueira Abud²
Sheyla Santana de Carvalho²

Resumo

Assim como no caso de implantes, o aumento da expectativa de vida e do risco de acidentes, implicando em maior número de cirurgias, tem levado ao crescente uso de instrumentos cirúrgicos. A confiabilidade destes instrumentos, usados em aplicações com grande responsabilidade, depende das características dos materiais utilizados, assim como das condições de processamento utilizadas em sua fabricação. Utilizando algumas técnicas de análise como microscopia ótica, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e ensaios de dureza, o objetivo deste trabalho é identificar as possíveis causas da falha de torquímetros cirúrgicos utilizados na fixação de implantes dentários e tentar correlacioná-las com características microestruturais dos aços inoxidáveis austeníticos e martensíticos utilizados em sua fabricação. Os resultados obtidos neste estudo permitiram a identificação das causas da falha, primariamente relacionadas com heterogeneidades microestruturais resultantes de tratamentos térmicos inadequados e com a presença de inclusões não metálicas, que contribuíram para a ocorrência de fratura frágil e corrosão.

Palavras-chave: Análise de falha; Aços inoxidáveis austeníticos; Aços inoxidáveis martensíticos; Microestrutura; Instrumental cirúrgico.

FAILURE ANALYSIS OF SURGICAL TORCH METERS

Abstract

As in the case of implants, the increase of the life expectancy and of the risk of accidents, thus causing a higher incidence of surgeries, has led to an increase use of surgical instruments. The reliability of these instruments, used in applications of considerable responsibility, depends on the characteristics of the materials, as well as on the conditions of processing/fabrication. By using some techniques such as optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM) and hardness tests, this work has as purpose the identification of the possible causes of failure of surgical torch meters used for dental implants fixation, trying to correlate with the microstructural characteristics of the austenitic and martensitic stainless steels used in their fabrication. The results thus obtained allowed the identification of the main causes of the failure, primarily related to microstructural heterogeneities which resulted from inadequate heat treatment and with the presence of non metallic inclusions, which favored brittle fracture and corrosion.

Key words: Failure analysis; Austenitic stainless steels; Martensitic stainless steels; Microstructure; Surgical instruments.

¹ Contribuição técnica ao 67^o Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Instituto Nacional de Tecnologia, Rio de Janeiro, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O incremento da longevidade da população brasileira e mundial nas últimas décadas tem proporcionado um crescimento significativo de cirurgias de diversos tipos, embora outros fatores, como o avanço científico-tecnológico e a maior exposição dos indivíduos a riscos de trauma, por exemplo, também contribuam para essa tendência [1]. Diversos artigos já foram escritos sobre implantes cirúrgicos, tanto ortopédicos como dentais, abordando suas características tais como: biocompatibilidade, resistência mecânica (estática e dinâmica), resistência à degradação (corrosão e desgaste), bioadesão (ao osso), facilidade de fabricação por diferentes processos termomecânicos e disponibilidade/baixo custo [2,3]. Em geral os requisitos de composição química, microestrutura e propriedades mecânicas de implantes cirúrgicos metálicos estão estabelecidos em normas editadas por instituições de âmbito internacional como a ISO (International Organization for Standardization) e a ASTM (American Society for Testing and Materials) [4-9].

Entretanto, pouca informação [10] está disponível na literatura técnica-científica sobre os instrumentos utilizados nestas cirurgias, tanto cortantes como tesouras e bisturis, quanto não cortantes, como pinças, além das normas técnicas específicas sobre estes instrumentos [11-15].

A análise de falhas utiliza diversos tipos de técnicas para a investigação das causas do defeito que leva ao colapso de um equipamento ou de uma estrutura. De um modo geral essas causas estão relacionadas com: a utilização de materiais inadequados, a presença de defeitos surgidos durante a fabricação, erros de projeto, de montagem, de manutenção ou de utilização. O conhecimento dessas causas e a correção dessas anomalias permitem aprimorar o funcionamento de equipamentos semelhantes e evitar a repetição do mesmo tipo de falha, melhorando o desempenho do componente, tanto em relação à funcionalidade, quanto ao atendimento dos requisitos de segurança. Em geral, a análise de falhas busca correlacionar o aspecto visual de uma fratura à sua possível causa, utilizando para isso técnicas de microscopia, principalmente a microscopia eletrônica de varredura (MEV) [16-18].

No presente trabalho é conduzida uma análise de falha de torquímetros cirúrgicos, utilizados na fixação de implantes dentais. Este tipo de instrumento cirúrgico é fabricado com materiais submetidos a processo de fabricação, que normalmente resultam na capacidade de resistir aos esforços mecânicos aplicados em ambiente corrosivo associado a fluidos corpóreos. Entretanto, no presente caso os instrumentos cirúrgicos falharam precocemente, apresentando evidências de fratura frágil e corrosão. O uso de técnicas de análise metalográfica em microscópio ótico, análise visual macrográfica em estéreo-microscópio e análise fractográfica em microscópio eletrônico de varredura (MEV), permitiu concluir que os torquímetros fraturaram devido à realização de tratamentos térmicos inadequados, fator agravado pela presença de inclusões não metálicas, que contribuíram para a propagação da fratura frágil intergranular, também causada pelo teor muito elevado de carbono no aço inoxidável martensítico.

2 MATERIAIS E METODOLOGIA EXPERIMENTAL

As Tabelas 1 e 2 mostram a composição química dos aços utilizados na fabricação dos torquímetros, assim como os limites de teores dos elementos especificados [19].

Tabela 1. Composição química do aço inoxidável 303

Elementos	Inox 303 (% massa)	Especificado* (% massa)
Carbono	0,112	0,15 máximo
Enxofre	0,173	0,15 mínimo
Silício	0,41	1,00 máximo
Fósforo	0,031	0,20 máximo
Cromo	17,07	17,0 – 19,0
Manganês	1,67	2,00 máximo
Níquel	8,13	8,00 – 10,00
Ferro	Balanço	Balanço

Tabela 2. Composição química do aço inoxidável 440C

Elementos	Inox 440C (% massa)	Especificado* (% massa)
Carbono	1,90	0,95 – 1,20
Enxofre	0,007	0,03 máximo
Silício	0,76	1,00 máximo
Fósforo	0,016	0,04 máximo
Cromo	16,76	16,0 – 18,0
Manganês	0,41	1,00 máximo
Níquel	0,17	Não especificado
Ferro	Balanço	Balanço

A composição química do aço inoxidável 303 enquadra-se totalmente dentro da faixa de teores especificados para cada elemento, porém o teor de carbono do aço inoxidável denominado como 440 C encontra-se muito acima da faixa especificada para este elemento. Sabe-se que teores de carbono muito elevados, acima dos especificados para cada material destinado a uma aplicação específica, torna o aço muito duro e conseqüentemente muito frágil (quebradiço), principalmente quando estas aplicações envolvem esforços mecânicos, muitas vezes cíclicos. Além disso, o carbono em teores muito altos, devido à sua afinidade pelo cromo, que leva à formação de carbonetos de cromo (do tipo $Cr_{23}C_6$ e Cr_7C_3), retira cromo da matriz do aço inoxidável, reduzindo consideravelmente sua resistência à corrosão.

Três tipos de ensaios foram realizados: microscopia ótica, incluindo análise visual em estéreo-microscópio, ensaio de dureza, e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

As amostras para análise metalográfica foram submetidas a preparação padronizada [20,21]. O aço inoxidável austenítico (AISI-SAE 303) foi atacado com solução de 5 g de ácido pícrico em 50 ml de ácido clorídrico, enquanto o aço inoxidável martensítico (AISI-SAE 440C) foi submetido ao ataque eletrolítico em solução de 10 ml de ácido clorídrico em 100 ml de álcool etílico.

Amostras dos mesmos materiais, com superfícies fraturadas foram submetidas à análise fractográfica em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) com filamento de tungstênio operando a 20 kV.

Foi medida a dureza na escala Vickers com carga de 10 kgf (98,07 N) de acordo com a norma NBR ISO 188-1:99 [22] no aço inoxidável martensítico 440C.

A figura 1 apresenta os torquímetros, especificando o tipo de aço utilizado em cada componente.

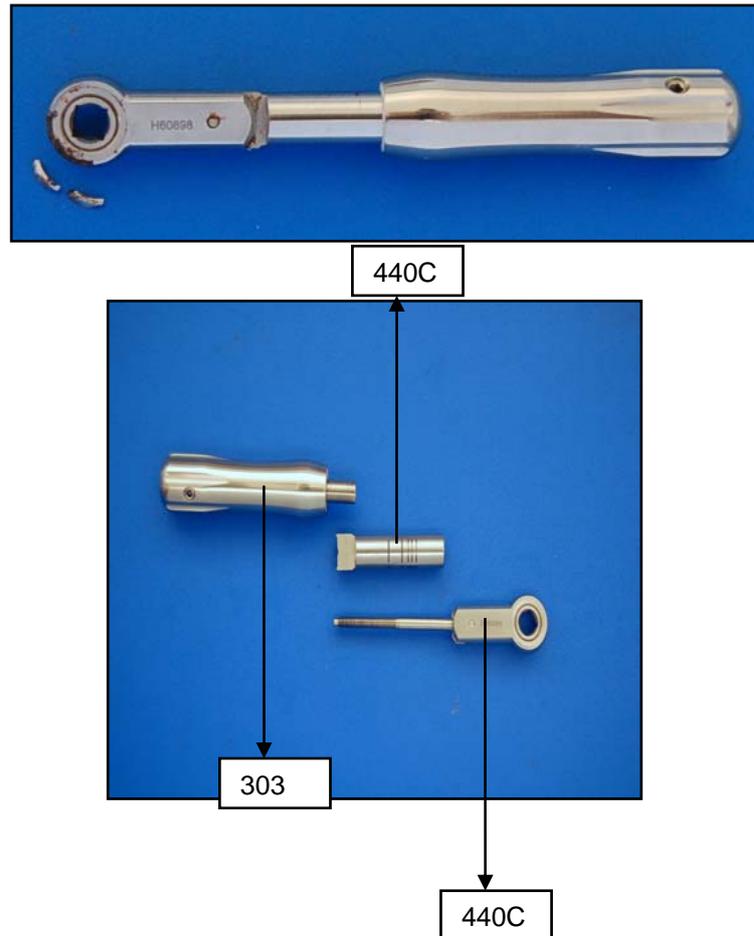


Figura 1 – Torquímetro com falha e seus componentes.

3 RESULTADOS

A Figura 2 mostra a microestrutura do aço inoxidável 303, enquanto a Figura 3 apresenta a microestrutura do aço inoxidável 440 C.

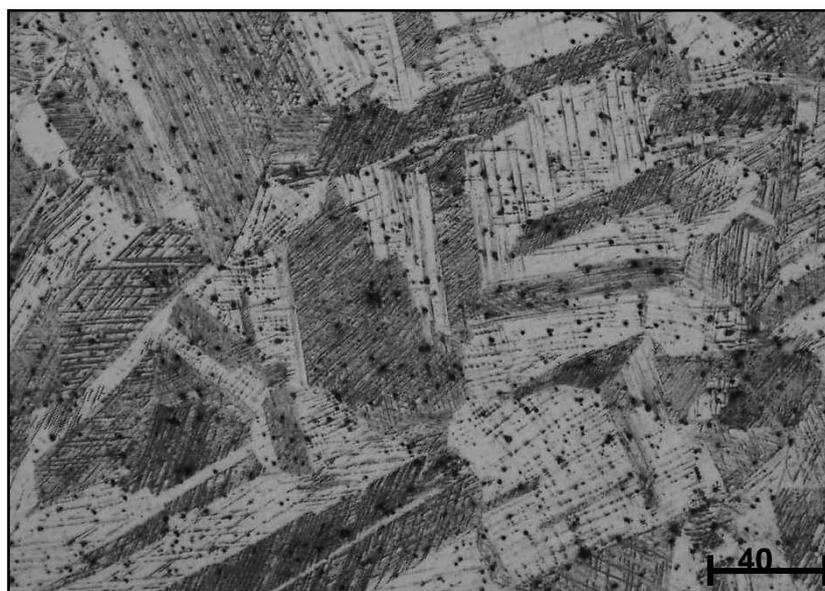


Figura 2 – Microestrutura do aço inoxidável 303 apresentando regiões com martensita e com bandas de deformação.

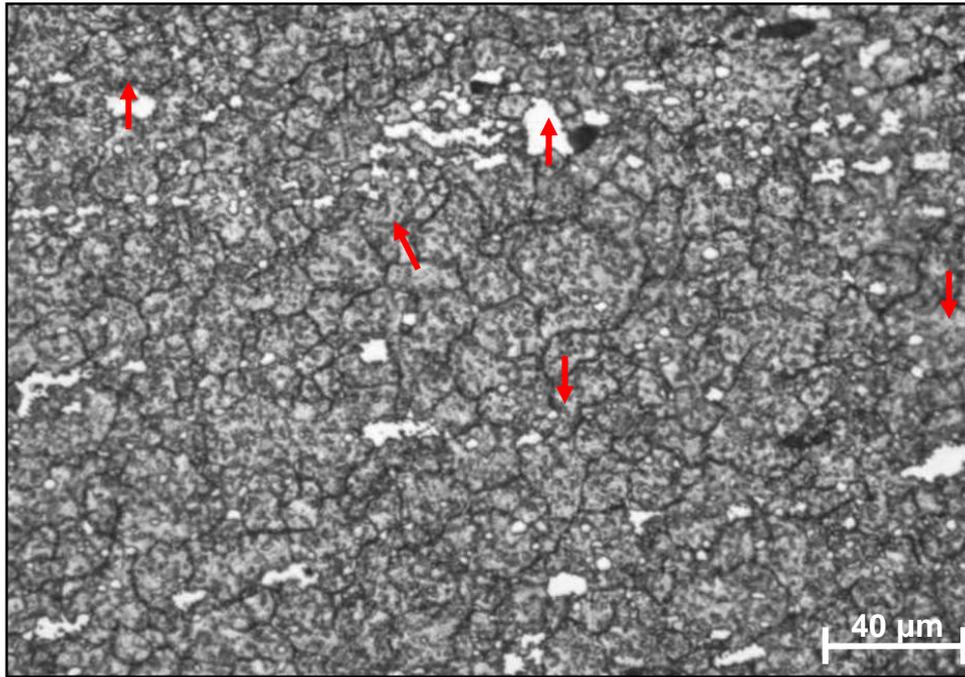


Figura 3 – Microestrutura do aço inoxidável 440C, apresentando evidências da presença de austenita retida e de ferrita delta.

A Figura 4 mostra a fratura do torquímetro observada em estéreo-microscópio (análise visual) em baixo aumento.

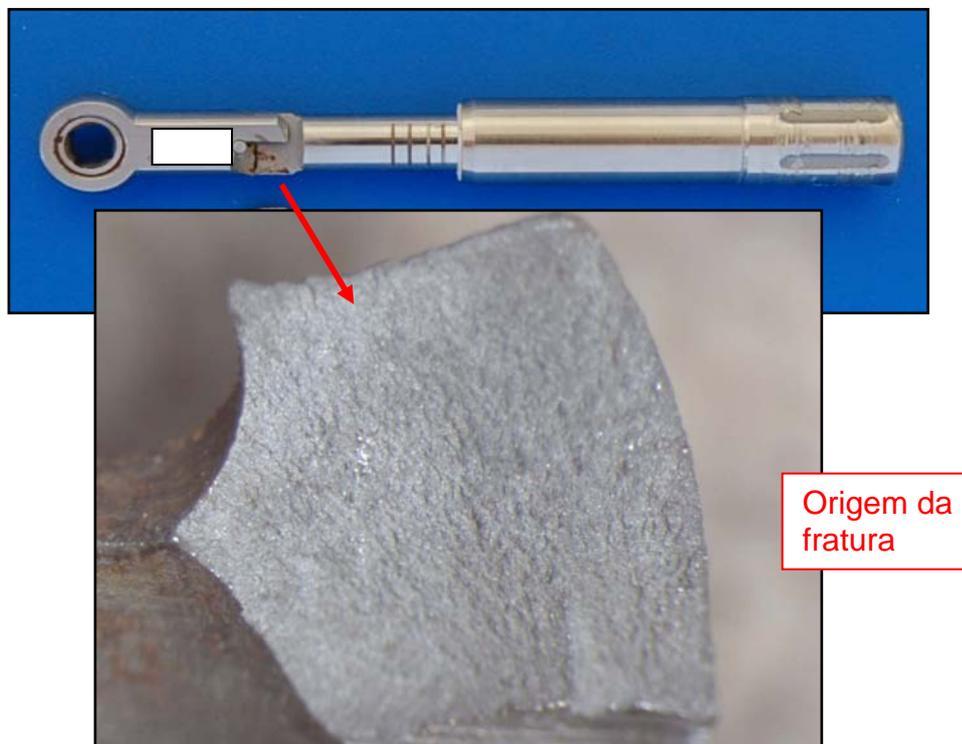


Figura 4 – Fratura do torquímetro observada em estéreo-microscópio.

A Figura 5 mostra a fratura frágil intergranular do tipo quase-clivagem observada em MEV.

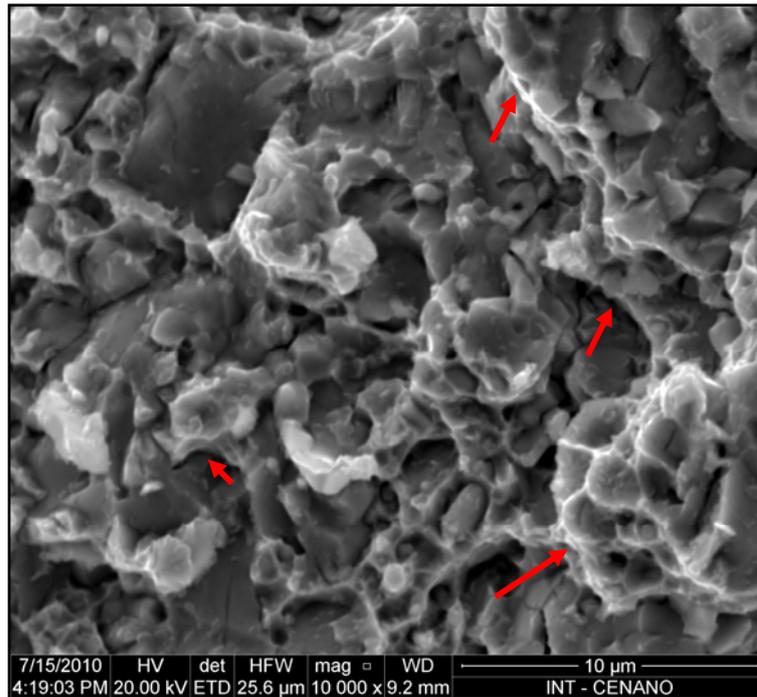


Figura 5 - Fratura frágil (quase-clivagem) apresentando regiões de fratura intergranular. Imagem obtida em MEV.

As Figuras 6 e 7 mostram as inclusões não metálicas observadas em microscópio óptico e MEV, respectivamente.



Figura 6 – Inclusões não metálicas observadas em microscópio óptico.

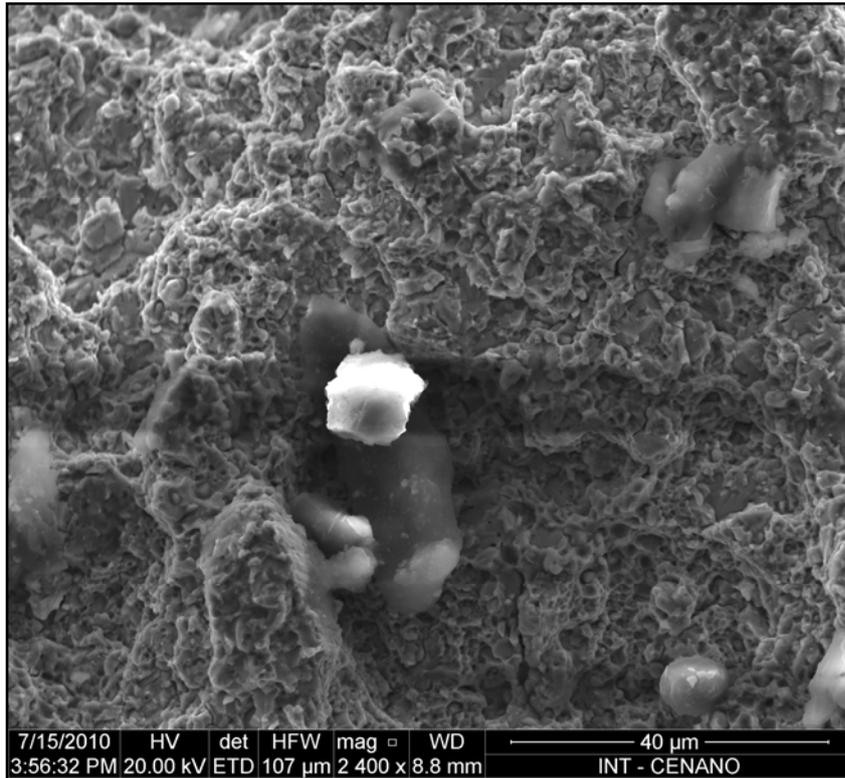


Figura 7a – Inclusão não metálica observada em MEV.

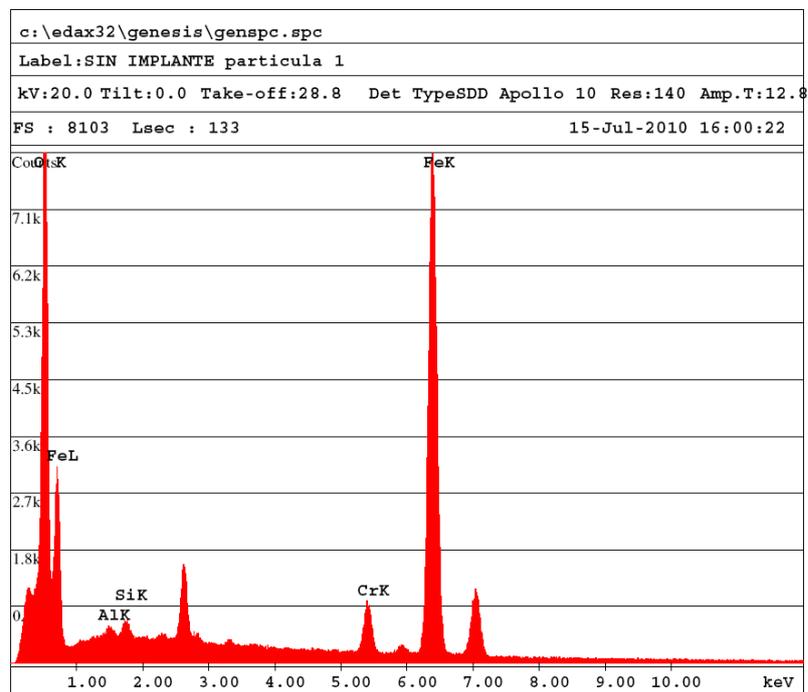


Figura 7b – Espectro de EDS (energia dispersiva de raios X) da partícula mostrada na figura 7-a, evidenciando composição química de silicato (sílica e alumina).

A Tabela 3 apresenta os valores de dureza Vickers obtidos numa das amostras de aço inoxidável 440 C com a aplicação de carga de 10 kgf (HV10).

Tabela 3 – Dureza Vickers (HV10) do CP3

Pontos	Dureza HV
1	773,44
2	766,98
3	748,57
4	748,09
5	740,54
Média	755,52

4 DISCUSSÃO

Foram relatadas falhas precoces (após dois ou três dias de uso) dos torquímetros analisados. O torquímetro rompe na camada externa, que é muito fina. A corrosão é consequência da fratura exposta ao meio. O pino articulado (sob carregamento cíclico) se constituiu num sítio preferencial para a iniciação da fratura, que ocorre bem junto do pino com corrosão.

A fratura frágil apresenta aspecto de quase-clivagem, com pequenas regiões facetadas e outras regiões com características de fratura intergranular. Existem algumas áreas com muitas partículas de inclusões não metálicas (sulfetos, óxidos e silicatos), que podem contribuir para a ocorrência da fratura frágil. No MEV foi possível visualizar uma partícula de silicato associada à fratura frágil.

O aço inoxidável austenítico apresenta-se bastante deformado, com muitas bandas de deformação e até mesmo algumas áreas de martensita induzida por deformação (confirmada pelo magnetismo revelado com um ímã). Esse encruamento excessivo, provavelmente está associado a um processo de conformação mecânica sem a posterior realização de tratamento térmico de recozimento ou alívio de tensões, que seria muito necessário. Sabe-se que esse tipo de aço, quando muito deformado (sem a realização de um recozimento após a deformação) fica mais susceptível à corrosão e à fratura. Por outro lado, as micrografias do aço inoxidável martensítico revelaram algumas áreas mais claras, que não são da fase martensita e podem ser austenita retida ou ferrita delta, fases com resistência mecânica inferior à da martensita.

O valor médio de dureza encontrada no componente de aço inoxidável martensítico 440 C, foi relativamente alta, porém próxima do limite máximo da norma NBR 13911:1997 [23], que para aço inox 440 C especifica uma faixa de 56 a 60 HRC, enquanto no caso destes torquímetros foi encontrada dureza de 755 HV, que corresponde a 62 ou 63 HRC [24]: um pouco acima do esperado. Isso é consequência do teor de carbono muito elevado, o qual endurece excessivamente o material, o tornando muito frágil. Tratamentos térmicos inadequados, como revenimento insuficiente, por exemplo, também podem contribuir para o excesso de dureza.

5 CONCLUSÕES

A falha precoce dos torquímetros está associada à elevada dureza destes instrumentos cirúrgicos, a qual foi acarretada pelo teor de carbono excessivamente alto encontrado no aço inoxidável martensítico 440C e por tratamento térmicos inadequados em ambos os aços, segundo informações obtidas. Outro fator contribuiu para a propagação da fratura: a presença de inclusões não metálicas em nível elevado. Como consequência, ocorreu fratura do tipo quase-clivagem,

mostrando também regiões com aspecto de fratura intergranular, que levou à falha destes instrumentos cirúrgicos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Mauro de Melo Rodrigues pela preparação de amostras para análise metalográfica, ao Progex do INT pelo fornecimento das amostras e ao Laboratório de Química Analítica e Metrologia (LAQAM) do INT pela análise de composição química.

REFERÊNCIAS

- 1 AZEVEDO, C.R.F.; HIPPERT Jr., E.; “Análise de falhas de implantes cirúrgicos no Brasil: a necessidade de uma regulamentação adequada”, Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 18 (5), set-out, 2002, pp.1347 – 1358.
- 2 CAVALCANTI, E.; COELHO, S.; “Implantes Ortopédicos Temporários de Aço Inoxidáveis”, Revista Inox, ano V, nº 8, 1997, pp. 6 – 8.
- 3 BREME, J.; “Titanium and titanium alloys, biomaterials of preference”, Mèmoires et Études Scinetifiques Revue de Métallurgie, Octobre, 1989, pp. 625 – 637.
- 4 NBR ISO 5832 – 12 partes; “Implantes para cirurgia – Materiais metálicos”. Parte 2: Titânio comercialmente puro, 2001. Parte 3: Ligas de titânio, 1997.
- 5 NBR ISO 15374 – “Implantes para cirurgia – Requisitos para a produção de forjados”, 2000.
- 6 ASTM B 348-93 – “Standard Specification for Titanium Alloy Bars and Billets”, 1993.
- 7 ASTM F 67-89 – “Standard Specifications for Unalloyed Titanium for Surgical Implant Applications”, 1989.
- 8 ASTM F136-02 – “Standard Specification for Wrought Titanium-6 Aluminum – 4 Vanadium ELI (Extra Low Interstitial) Alloy for Surgical Implant Applications (UNS R56401)”, 2002.
- 9 ETTC2 – “Microstructural Standards for Titanium Alloy Bars”.
- 10 RODRIGUES, C.A.D; ENOKIBARA, F.; LEIVA T.P.; NUNES, I.A.; ROLLO, J.M.D.A.; “Qualidade do aço inoxidável martensítico do tipo AISI-420 utilizado na confecção de ferramentas cirúrgicas”, revista da Escola de Minas, Ouro Preto, 62, (4) outubro-dezembro, 2009, pp. 475-480.
- 11 ABNT NBR ISO 7153-1-07 – “Instrumental Cirúrgico – Materiais Metálicos. Parte 1: Aço Inoxidável”.
- 12 ABNT NBR ISO 7153-1-07 – “Instrumental Cirúrgico – Materiais Metálicos. Parte 1: Aço Inoxidável”.
- 13 ABNT NBR 13913-97 – “Instrumental Cirúrgico Articulado não Cortante – Requisitos Gerais”.
- 14 ABNT NBR ISO 13402:1997 – “Instrumental Cirúrgico e Odontológico – Determinação da resistência à esterilização em autoclave, à corrosão e à exposição térmica”.
- 15 ABNT NBR ISO 13851:1997 – “Instrumental Cirúrgico e Odontológico – Resistência à esterilização em autoclave, à corrosão e à exposição térmica – Requisitos Gerais”.
- 16 AZEVEDO, C.R.F.; CESCÓN, T.; “Metalografia e Análise de Falhas, Casos Selecionados (1933-2003); IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), São Paulo, 2004, 1ª edição, 416 p.
- 17 WOUTERS, R.; FROYEN, L.; “Scanning electron microscope fractography in failure analysis of steels”; Materials Characterization, 36, 1996, pp. 357-364.
- 18 METALS HANDBOOK, Ninth Edition, Volume 11, Failure Analysis and Prevention, ASM (American Society for Metals), Metals Park, Ohio, 1986, 843 p.
- 19 ASM Handbook, Volume 1, Properties and Selection: Irons, Steels and High-Performance Alloys, ASM International, Materials Park, Ohio, USA, 1990, 6 th printing 2001.

- 20 ASTM E 3 - 01 – “Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens”.
- 21 ASTM E 407- 99 – “Standard Practice for Microetching Metals and Alloys”.
- 22 ISO 6507-1- 05 – “Metallic Materials – Vickers Hardness Test – Part 1: Test Method”.
- 23 Norma NBR 13911:1997, “Instrumental cirúrgico – Material metálico – Especificações para tarugos, barras e fios de aço inoxidável”.
- 24 ASTM E 140-05 – “Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness”.