

ESTUDO DE CASO E ANÁLISE DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO DE UMA PRÓTESE PARCIAL REMOVÍVEL FRATURADA¹

ANÁLISE DE FALHA DA LIGA CoCrMo DE UMA PPR

Patricia Gomes de Andrade Borges²
Carla Pereira Santos Porto³
Paulo Moura Bispo Santana³
Marco Antonio Ramos Nunes³
Sandro Griza⁴

Resumo

Uma Prótese Parcial Removível (PPR) de uma paciente do sexo feminino sofreu fratura após três anos de uso contínuo. O material analisado trata-se de uma liga metálica, composta por CoCrMo, confeccionada através da técnica de fundição por cera perdida. A análise da falha foi realizada com auxílio do microscópio eletrônico de varredura (MEV), onde foram feitas análise topográfica no intuito de observar o início da trinca e seu possível mecanismo de fratura e EDS com o objetivo de analisar qualitativamente a composição da liga. Foi efetuada a metalografia para ressaltar os aspectos microestruturais associados ao processo da fratura. Observou-se que a fratura foi predominantemente interdendrítica apresentando estrias de fadiga e defeitos microestruturais oriundos do processo de fabricação da peça.

Palavras-chave: Liga de CoCrMo; Biomateriais; Análise de falha.

CASE STUDY AND ANALYSIS OF THE INVESTMET CASTING FOR PARTIAL REMOVABLE DENTAL PROSTHESES FRACTURED

Abstract

A partial removable dental prosthesis (PRDP) for a female patient fractured after three years in continuous use. The analyzed material is a metallic CoCrMo alloy, prepared by investment casting. The failure analysis was performed using the scanning electron microscope (SEM) in order to characterize the fracture and to identify crack initiation. EDS microprobe was carried out aiming the material confirmation. Then the metallographic analysis was performed to highlight the microstructural aspects associated with the fracture process. The fracture was predominantly interdendritic with fatigue striations and was encouraged by the existence of microstructural defects arised from investment casting process.

Key words: CoCrMo alloy; Biomaterials; Failure analysis.

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

² Mestranda em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal de Sergipe; borgespatricia@live.com.

³ Doutorando em Ciência e Engenharia dos Materiais; Universidade Federal de Sergipe; porto.carla@gmail.com; poumou@hotmail.com; reaboralnunes@yahoo.com.br.

⁴ Engenheiro Mecânico, Prof. Dr., Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais (P2CEM), Universidade Federal de Sergipe (UFS), Brasil; griza@ufs.br.

1 INTRODUÇÃO

Foi realizado um estudo de caso e análise da fundição de uma prótese parcial removível (PPR) que rompeu de forma prematura após três anos de uso contínuo. A paciente era do sexo feminino e possuía oclusão estável.

O material analisado foi uma liga metálica, composta basicamente por: 60% Co, 29% Cr, 6,2% Mo, usada na Odontologia para a confecção de PPRs. Estas próteses são confeccionadas através da técnica de fundição por cera perdida, com a finalidade de repor os elementos dentais perdidos, reestabelecendo a função (mastigação e fonação) e a estética.

A técnica de fundição por cera perdida, segundo Kaiser,⁽¹⁾ tem início com a confecção do desenho da armação, que é um esboço da estrutura metálica planejada pelo Dentista servindo para orientar o protético no enceramento da peça, seguida pela obtenção do modelo refratário (revestimento à base de quartzo) a partir do modelo mestre, sobre o qual ocorrerá o enceramento da peça através de esculpimento.

Existem duas maneiras de fundir uma PPR: através do modelo ou sobre o modelo. A fundição através do modelo é uma técnica que economiza tempo, porém aumenta os riscos de porosidades na entrada do cone de injeção. A fundição sobre o modelo é mais segura, nesse caso coloca-se a base alimentadora sobre o modelo.

A fundição é realizada dentro de um anel de fundição confeccionado com o mesmo revestimento do modelo refratário pré-aquecido lentamente em forno elétrico programável até uma temperatura de 1.000°C a 1.050°C.

Para Strickland e Sturdevant⁽²⁾ entre os fatores que podem ocasionar falhas ou defeitos em estruturas metálicas fundidas tem-se, a composição da liga, sua manipulação e o método de confecção do canal de alimentação. Outros autores citam ainda a composição do revestimento, a temperatura da liga e do molde, a técnica de fundição da liga, quer seja pela utilização do maçarico, dispositivos elétricos ou por indução.^(3,4)

Por muitos anos as ligas de ouro constituíram o material de escolha para a confecção das estruturas metálicas de PPR. Porém, devido ao alto custo do ouro, novas ligas alternativas foram desenvolvidas para substituí-lo.

Com o avanço do conhecimento sobre as ligas e com a necessidade de redução de custos, surgiram as ligas alternativas. No início, foram desenvolvidas alterando as proporções dos metais nobres e não nobres e, mais tarde, sem a presença de metais nobres em sua composição. A partir da década de 1930, as ligas de cobalto-cromo passaram a ter um uso cada vez maior e, atualmente, tornaram-se as de eleição na fabricação das estruturas metálicas de PPR. As vantagens do uso dessas ligas para fundições dentárias estão associadas ao fato de serem leves (baixa densidade), resistentes à corrosão e oferecem maior resistência à deflexão em dimensões estruturais menores devido ao seu alto módulo de elasticidade,⁽⁵⁾ além disso, são biocompatíveis com tecidos periimplantares, possuem boa fundibilidade e baixo custo.^(6,7)

Apesar do sucesso clínico das ligas de Co-Cr, elas apresentam algumas propriedades desfavoráveis, tais como: baixo limite a fadiga e baixa ductilidade, sendo responsáveis por um grande número de insucessos clínicos, principalmente pela perda de retenção dos grampos.⁽⁸⁻¹⁰⁾

A retenção da prótese parcial removível (PPR) normalmente é realizada através da utilização de retentores extracoronários (grampos). Esses grampos de retenção devem apresentar grande resiliência, ou seja, devem ser capazes de flexionar e

retornar a forma original, mantendo a prótese bem adaptada sem deformar plasticamente. Além disso, os grampos não devem causar indevidamente tensão nos dentes pilares ou ser permanentemente distorcidos quando em serviço.⁽¹¹⁾

Como as próteses são confeccionadas sobre uma estrutura metálica sua vida útil pode estar comprometida em função dos defeitos decorrentes do processo de fundição. Entre os defeitos de fundição podem ser destacados a presença de porosidades e microrrechupes.^(12,13) Entre as reclamações mais comuns por parte dos pacientes que usam próteses parciais removíveis a grampo, são de destaque a perda da elasticidade do grampo, ou sua fratura. Em 1965, Bates⁽¹⁴⁾ apresentou um estudo que atribuiu a falha por fadiga às alterações estruturais como porosidades ou trincas. Anderson⁽¹⁵⁾ reforça que a fratura de componentes de uma PPR pode ser atribuída à presença de inclusões como precipitações eutetóides, grãos cristalinos grandes ou falha por fadiga. Estudos que auxiliem na detecção dos motivos de falhas são importantes para a evolução do projeto das próteses parciais removíveis, uma vez que a falha provoca desconforto, possíveis processos inflamatórios no paciente e a necessidade de um procedimento de reparo ou substituição.

Este estudo busca definir os fatores que provocaram a fratura de uma prótese parcial removível (Figura 1). Para tal, foram utilizadas as seguintes técnicas: análise em lupa de baixo aumento, análise em microscópio ótico (MO) e microscópio eletrônico de varredura (MEV), onde foram realizadas as análises de fratura, observação da microestrutura do material e da composição qualitativa da liga e teste de microdureza Vickers a fim de verificar se esta correspondia aos valores fornecidos pelo fabricante da liga.

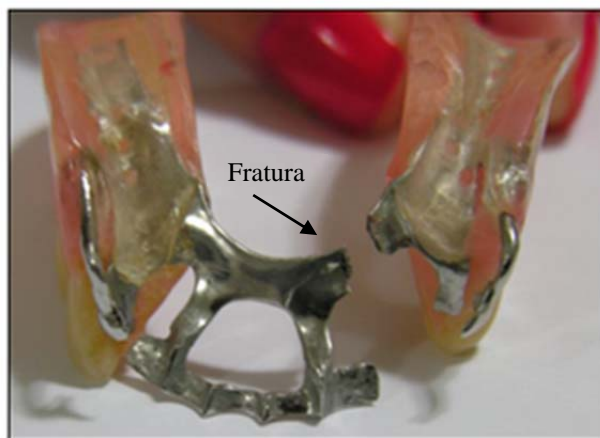


Figura 1. Prótese parcial removível fraturada. A seta indica a região de fratura.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As análises de falha normalmente são realizadas através das observações macroscópicas e microscópicas, onde é possível a determinação de diversas características do material, inclusive a determinação das causas de fraturas, desgastes prematuros e outros tipos de falhas.

A primeira análise a ser realizada é a macroscópica, onde se utiliza uma lupa de baixo aumento. Em seguida observa-se a amostra em microscopia ótica (MO), se necessário, e finalmente utiliza-se o microscópio eletrônico de varredura (MEV), caracterizando a análise microscópica. A microscopia eletrônica de varredura (MEV) desempenha papel importante no estudo de falhas devido a sua alta resolução,

profundidade de foco e utilização de recursos analíticos, que possibilitam a realização *in situ* de microanálise ou mapeamento químico da superfície da amostra.

2.1 Análise de Fratura em Baixo Aumento

A peça fraturada foi cortada em uma máquina de corte de precisão. Em seguida, foi feita uma limpeza da fratura com solução detergente e uma escova de cerdas macias a fim de não danificar a superfície fraturada. Foi realizada a observação macroscópica em lupa (Zeiss Stemi 2000C), a fim de visualizar os aspectos macroscópicos da fratura e a condição superficial da peça nas adjacências do plano de fratura.

2.2 Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura e EDS

A superfície de fratura foi analisada em microscopia eletrônica de varredura (Jeol JCM 5700) para verificar os micromecanismos de fratura. Foi realizada análise por microsonda de energia dispersiva (EDS) para verificar o teor relativo dos principais elementos constituintes da liga.

2.3 Análise Microestrutural

Após a análise da falha realizou-se a preparação da amostra para metalografia, a fim de verificar a condição microestrutural do material. Para tal, a amostra anteriormente cortada foi embutida para observar um plano metalográfico paralelo ao de fratura. Em seguida o corpo de prova foi lixado com lixas d'água (grana 100, 200, 400, 600 e 1.200) e por fim polidas com um disco de feltro com pasta de diamante com granulometrias 3 μm e 1 μm .

Posteriormente a amostra foi analisada em microscópio ótico (Zeiss Axioscope A1), na condição como polida e após ataque químico para revelar a sua microestrutura. Foi realizado o ataque químico, conforme recomendação ASM Handbook,⁽¹⁶⁾ através de uma solução composta por: 15 ml de água destilada, 15 ml de ácido acético glacial, 60 ml de HCl 32% e 15 ml HNO₃ 65%. Essa solução foi envelhecida por uma hora e em seguida a amostra foi mergulhada durante período entre 10 segundos e 30 segundos.

2.4 Ensaio de Microdureza

Foi realizado ensaio de microdureza Vickers a fim de averiguar a dureza da peça e em seguida confrontar com os dados fornecidos pelo fabricante. Esse teste foi realizado em Microdurômetro (MicroHardeness Tester Shimadzu – HMV) com carga de 200 g (1961N – HV0,2), durante 15 segundos. Foram realizadas cinco medições aleatórias sobre a amostra embutida.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise de Fratura em Baixo Aumento

A superfície de fratura vista em baixo aumento apresentou um aspecto rugoso, típico de fratura em materiais de granulometria grosseira. Uma imagem realizada na parede lateral da peça mostrou evidências de defeitos como poros aflorando à superfície e trincas (Figura 2). A observação do plano inferior à fratura da parte da peça cortada para análise mostrou a presença de um grande defeito interno (Figura 3). Este plano foi posteriormente preparado para metalografia.

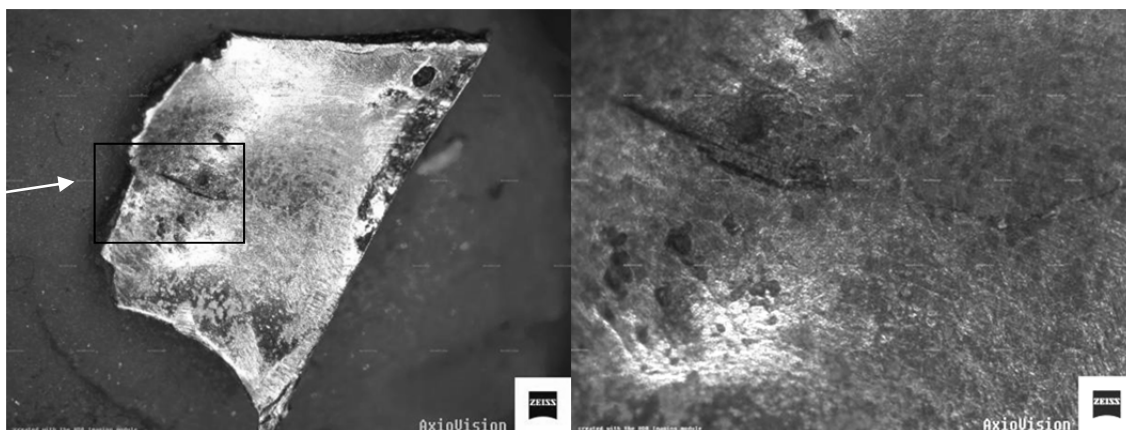


Figura 2. Imagem à esquerda mostrando a seção cortada para análise. A seta mostra o plano de fratura. A imagem a direita mostra em detalhe os defeitos superficiais encontrados: trincas e porosidades.

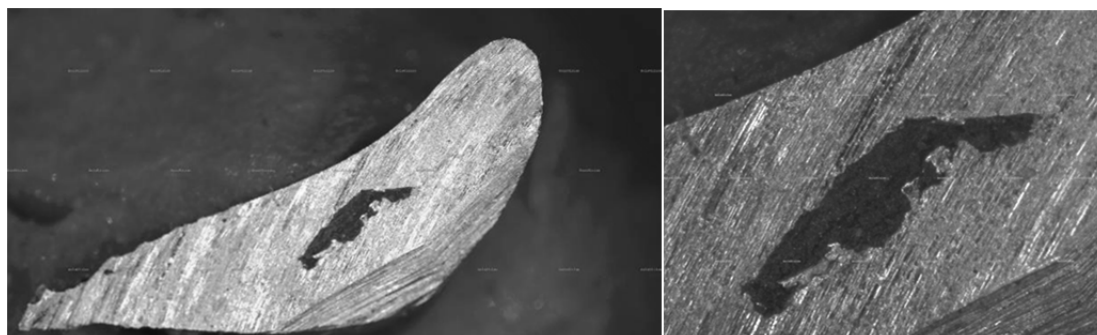


Figura 3. Imagens do plano inferior do corte. Observa-se um grande defeito interno.

3.2 Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura e EDS

A superfície de fratura vista em microscópio eletrônico mostrou um aspecto de fratura interdendrítica e algumas regiões amassadas (Figura 4). Em maior aumento, foi observada uma região contendo poros (Figura 5), que foi identificada como sendo a região de início da fratura. Esta região coincide com aquela onde foram verificados defeitos superficiais (Figura 2). O mecanismo preponderante de fratura consiste em separação interdendrítica (Figura 6). Também foram observadas regiões que apresentaram estrias e desníveis característicos de falhas por fadiga (Figuras 7 e 8). As estrias estão dispostas de forma a indicar a direção de propagação da fratura a partir da região identificada como sendo o início da falha. A análise em microsonda EDS mostra picos característicos em Co, Cr, Mo (Figura 9).

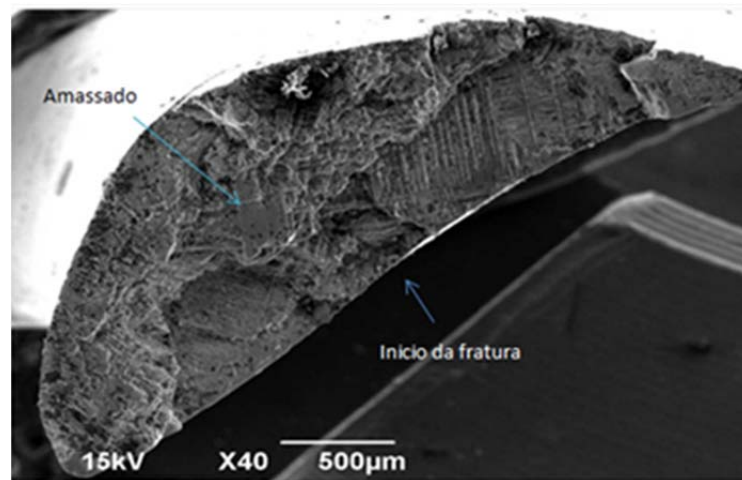


Figura 4. Imagem mostrando aspecto de fratura interdendrítica. O início da fratura foi identificado conforme indicado.

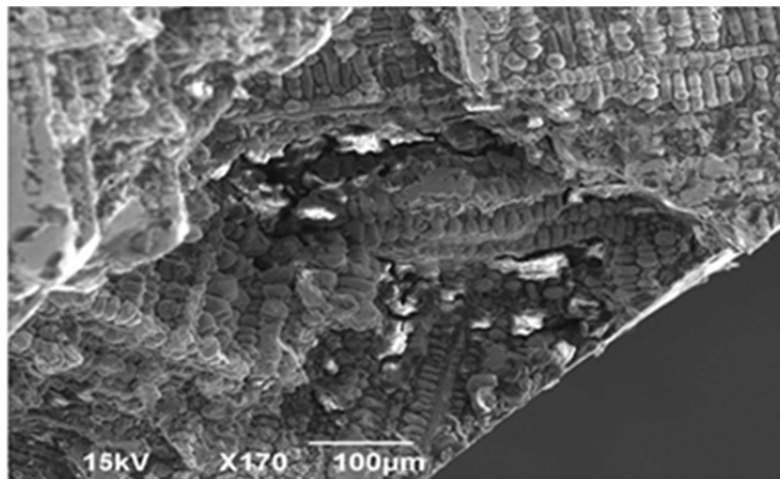


Figura 5. Imagem em maior aumento da região de início da fratura, onde observam-se poros (microrechupes).

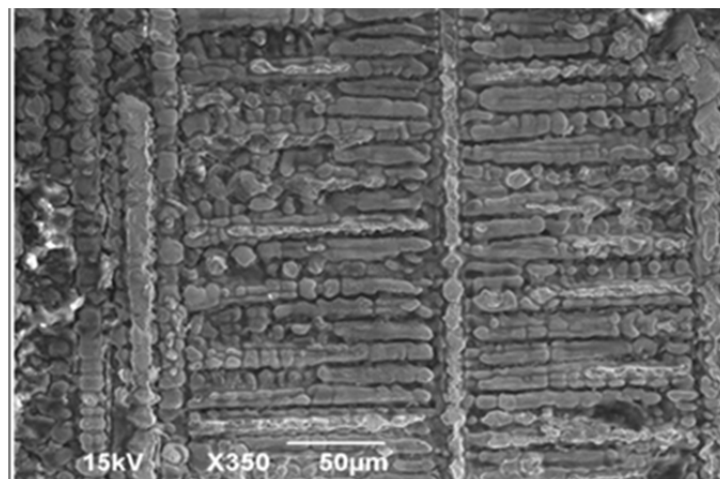


Figura 6. Imagem da separação interdendrítica.

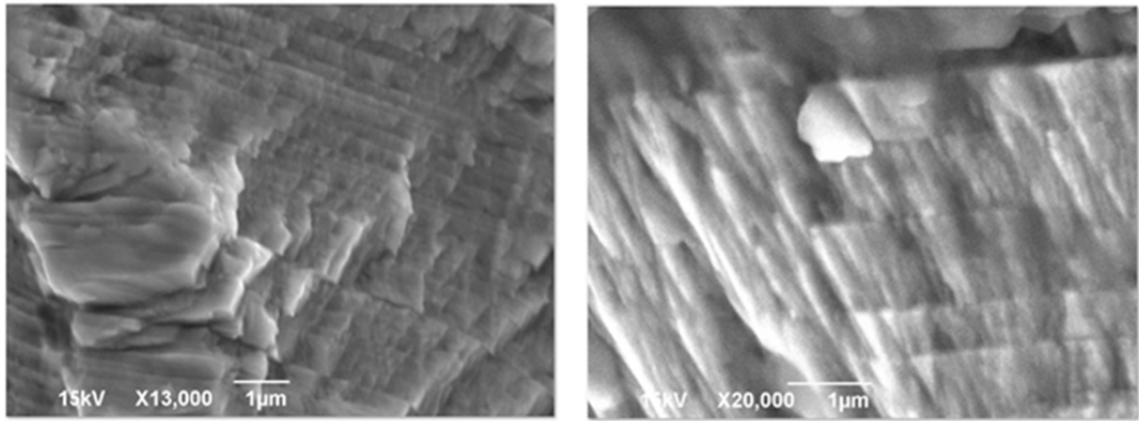


Figura 7. Estrias de fadiga encontradas na superfície de fratura.

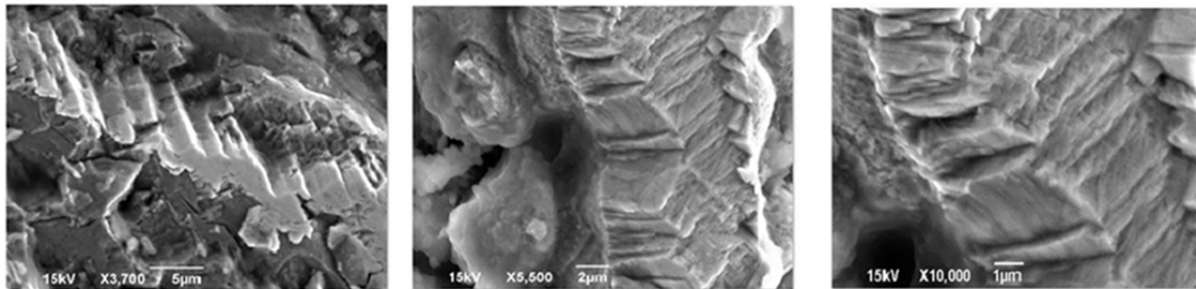


Figura 8. Fractografias mostrando ressaltos característicos de fadiga de ligas Co-Cr, encontradas na fratura.

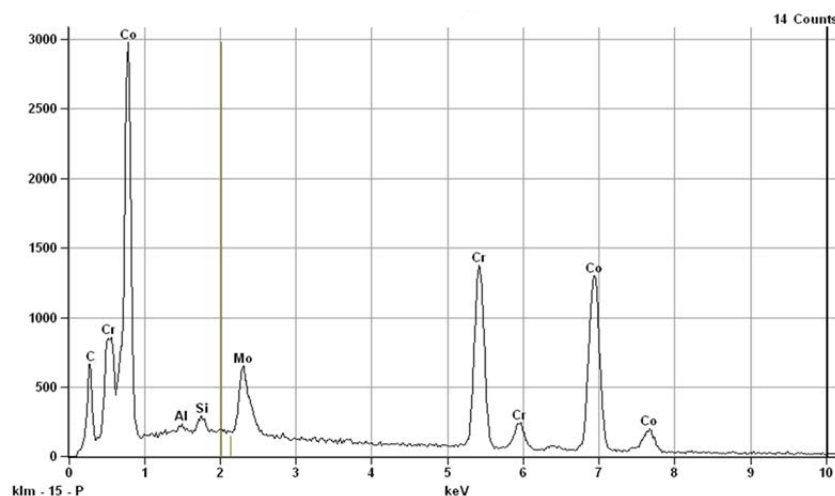


Figura 9. Resultado do ensaio por microsonda EDS, mostrando picos característicos em Co, Cr e Mo.

3.3 Análise Microestrutural

A análise microestrutural em baixo aumento e sem ataque mostra a formação de um defeito de falta de fusão associado à região de início da fratura e uma grande quantidade de microrrechupes dispersos na seção da peça (Figura 10). A análise após ataque indicou a microestrutura típica de liga Co-Cr-Mo, consistindo em matriz de solução sólida rica em cobalto, contendo carbonetos dispersos nos contornos dos grãos dendríticos, além de partículas de inclusões (Figura 11).

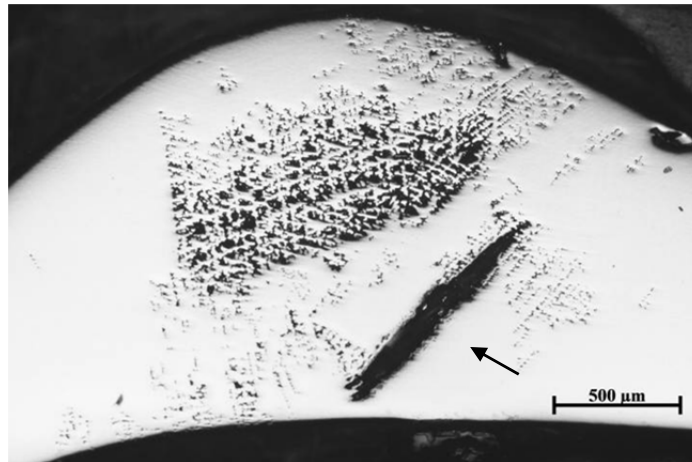


Figura 10. Microestrutura mostrando um grande defeito de falta de fusão (seta), além de microrechupes generalizados.

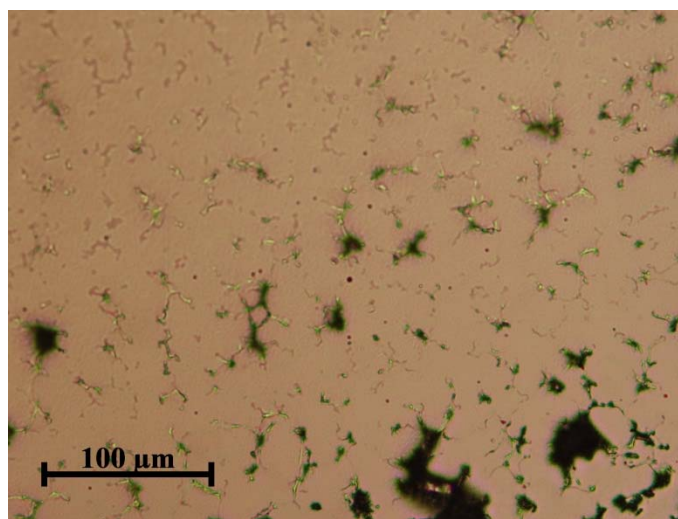


Figura 11. Imagem mostrando carbonetos (fases cinza) em matriz rica em cobalto, típica de ligas Cr-Co-Mo. Observam-se também pontos escuros associados à presença de inclusões e grandes microrechupes dispersos.

3.4 Microdureza

Nesse trabalho foram comparados os valores de microdureza Vickers fornecidos pelo fabricante e os realizados no laboratório. Foi encontrado o valor médio de 364,8 HV, e desvio padrão de 5,12, com coeficiente de variação de 26,2. Já o valor fornecido pelo fabricante foi 473 HV.

4 DISCUSSÕES

O fato de ligas Co-Cr-Mo serem resistentes a altas temperaturas determina, uma dificuldade maior no seu processamento, de forma que o processo mais utilizado para a fabricação dos componentes seja a fundição. Por possuir um alto ponto de fusão, essas ligas são muitas vezes liquefeitas por uma chama de maçarico com gás e ar. Qualquer que seja o método de fundição, um operador habilidoso se faz necessário, pois qualquer negligência no processo pode causar danos severos às propriedades dos metais ou levá-lo à falha.⁽¹⁷⁾

Neste estudo, observamos que a falha está relacionada com defeitos e inclusões microestruturais oriundos do processo de fabricação da peça por fundição.

Foram encontrados defeitos internos junto à região de início da fratura, caracterizados por falta de fusão, microrechupes e partículas de inclusões.

Os microrechupes ocasionados durante a solidificação do material podem ser provenientes de um cálculo errado do tamanho dos canais de alimentação, por pouca pressão ou baixas temperaturas no aquecimento.

A literatura relata que defeitos microestruturais como porosidades, trincas, inclusões, produzidos antes ou depois do processo de fabricação podem levar o material a falha.⁽¹²⁻¹⁵⁾

Falhas devidas à fundição são frequentemente relatadas. Iwana⁽¹⁸⁾ verificou que os grampos fraturados em PPR apresentavam falhas de fundição, o que mais tarde foi confirmado em Removable⁽¹⁹⁾ que atribuiu as falhas em próteses às fundições inadequadas ou falhas em projetos.

Segundo Rodrigues,⁽²⁰⁾ os métodos de fundição interferem na microestrutura, na microdureza e no nível de porosidade. De acordo com Vallittu e Miettinen,⁽²¹⁾ Mahmoud et al.,⁽²²⁾ e Ramamoorthi e Al Khuraif⁽²³⁾ a resistência a fadiga é um importante fator na durabilidade dos materiais dentários. No caso em estudo, a fratura por fadiga ocorreu devido aos defeitos de material. Fato esse ratificado pela presença de estrias na fratura.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo foi dedicado a identificar os fatores que levaram à fratura prematura de uma prótese parcial removível. As análises indicaram que a falha ocorreu por fadiga. Defeitos provenientes do processo de fundição como falta de fusão, inclusões e uma grande quantidade de microrrechupes foram encontrados junto à região de início da falha.

REFERÊNCIAS

- 1 KAISER, F. **PPR no laboratório**. Curitiba: Editora Maio, 2002, p.127-220.
- 2 STRICKLAND, W. D.; STURDEVANT, C. M. Porosity in full cast crown. **Journal American Dental Association**. v. 58, p. 69-78, Apr. 1959.
- 3 TODESCAN, R. Contribuição ao estudo da porosidade nos aparelhos parciais móveis. 1960. 84 f. **Tese (Livro Docência em Prótese Dentária)** – Faculdade de Farmácia e Odontologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- 4 PHILLIPS, R. W. **Skinner Materiais Dentários**. Trad. de Júlio Jorge D’Albuquerque Lossio. 9 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1993. 208-222p.
- 5 ANUSAVICE, K. J. **Phillips: Materiais Dentários**. 10^a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S. A. cap.20, pp.267-269, 1998.
- 6 CHAO, Y. ; ZARB, G.A.; JUDES H. A study into the use of chromiumcobalt alloy for constructing the framework for Osteointegrated prostheses. **Clinical Materials**. 1988; 3: 309-15.
- 7 HULTERSTRÖM , M.; NILSSON, U. Cobalt-Chromium as a framework material in implant supported fixed prostheses – a preliminary report. **International Journal Oral Maxillofac Implants**. 1991; 6(4): 475-80.
- 8 GIAMPAOLO, E. T.; LEONARDI, P.; CUCCI, A. L. M.; FULLER, J. B. Grampos de retenção para prótese parcial removível. Análise da resistência à flexão em função de grampos, ligas e técnicas de fusão. **Revista de Odontologia da UNESP**. v. 20, nº único, 1991a.

- 9 GIAMPAOLO, E. T.; LEONARDI, P.; CUCCI, A. L. M.; FULLER, J. B. Análise da resistência à flexão de grampos de retenção em prótese parcial removível. Efeito da interação grampos, ligas e técnicas de fusão. **Revista de Odontologia da UNESP**. v. 20, nº único, 1991b.
- 10 MJÖR I. A., CHRISTENSEN G. J. Assessment of local side effects of casting alloys. **Quintessence International**. v. 24, pp. 343 – 51, 1993.
- 11 ALI, M.; WATERS, N. E.; NAIRN, R. I.; WEST, F.; SHERRIFF, M. A laboratory investigation of the role of guide planes in the retention of cast cobalt-chromium alloy partial denture frameworks. **Journal of Dentistry**. v. 29, pp.291-299, 2001.
- 12 BOWMAN, J. F. Removable partial prosthodontics: comparison surveys--1964 and 1969. **Journal Dentistry Education**. v. 97, pp. 34-93, 1970.
- 13 BEN-HUR, Z., AVIV, I., MAHARSHAK, F. C. Factors affecting displacement of free-end saddle removable partial dentures. **Quintessence International**. v. 22, n. 1, pp. 23-27, Jan. 1991.
- 14 BATES, J. F. Studies related to the fracture of partial dentures. **Brazil Dental Journal**. v. 118, n. 12, pp. 532-537, June 1965.
- 15 ANDERSON, J. N. **Applied Dental Materials**. 4 ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1972. 350p
- 16 ASM Handbook. v.9. **Metallography and Microstructures**. ASM International. Materials Park. OH. 2004.
- 17 CRAIG, R.G; POWERS, J.M. **Materiais dentários restauradores**. 11 ed.São Paulo: Santos; 2004.
- 18 IWANA, C.Y. “Verificação de deformação e fratura de grampos circunferenciais em ligas de cromo-cobalto”. São Paulo, 1985. 95p. **Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Odontologia**, Universidade de São Paulo.
- 19 REMOVABLE partial denture. **Dent Advisor**, v. 6, n. 4, p. 1-8, Dec. 1989.
- 20 RODRIGUES, R.C.S. Estudo comparativo de dois métodos utilizados na fundição. 2005. **Tese (Livre Docência em Prótese Dentária)** – Faculdade de Farmácia e Odontologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- 21 VALLITTU P. K., MIETTINEN T. Duration of induction melting of cobalt-chromium alloy and its effect on resistance to deflection fatigue of cast denture clasps. **Journal Prosthetic Dentistry**. v.75,p p. 322-6, 1996.
- 22 MAHMOUD A, WAKABAYASHI N, TAKAHASHI H, OHYAMA T. Deflection fatigue of Ti-6Al- 7Nb, Co-Cr, and gold alloy cast clasps. **Journal Prosthetic Dentistry**. v. 93, pp. 183-8, 2005.
- 23 RAMAMOORTHY, M.; AL KHURAIIF, A.A. “A comparative evaluation of fatigue behavior of removable partial denture alloys with and without heat treatment”. **International Journal of Dental Clinics**. v. 3, n.1, pp. 14-17, 2011.