Unisanta Science and Technology, **2016, 6, July**
Published Online 2016 Vol.5 N°1 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Análise de Falha de Spray de Titânio em Serviço com Hidróxido de Sódio

Antonio Pousa Neto[1], Donizeti Pires Fernandes[1], Yago Reitz de Castro[1], Patrícia Pala Diniz e Willy Ank de Morais[1,2]

UNISANTA[1] – Universidade Santa Cecília –Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica -PPGEMec
Rua Oswaldo Cruz, 266- Santos-SP, Brasil - CEP: 11045-100

INSPEBRAS [2] – Inspeção e Controle de Qualidade – Departamento Técnico - DETEC
Av do Trabalhador, 1146 - Praia Grande, SP, Brasil- CEP: 11725-000

E-mail*:* antoniopousa.neto@gmail.com
Received december, 2015

Resumo: Este trabalho analisa a falha prematura de um spray de titânio, ocorrida com apenas dois anos de operação, ocasionada por corrosão por erosão. A Erosão foi gerada por partículas de vidro no fluido de circulação da coluna do equipamento. O vidro foi inserido no fluido através do desgaste das paredes do vaso que é de PRFV (plástico reforçado com fibra de vidro). A presença de partículas e a alta velocidade no spray provocaram cavitações, que acabaram por seccionar a espiral do spray. A linha de pesquisa abordou a metodologia de análise de falhas, e foram utilizadas ferramentas de análises como: análises químicas, metalográfica, microscópico eletrônico de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS), além de teste em processo.

Palavras chave: Passivação; titânio; erosão; velocidade crítica; Análise de Falhas.

Failure Analysis of Titanium Spray in Service with Sodium Hydroxide

Abstract: This paper analyzes the premature failure of a spray titanium, occurred with only two years of operation, caused due corrosion by erosion. Erosion was generated by glass particles in the circulating fluid column of the equipment. The glass was inserted in the fluid through the wear of the walls of the vessel which is GFRP (glass fiber reinforced plastic). The presence of glass particles and the high speed spray caused cavitation, which ended up slicing the spiral spray. The research addressed the methodology of failure analysis, and analysis tools as were used: chemical analysis, metallographic, scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive spectroscopy (EDS), and test process.

Keywords: Passivation; titanium; erosion; critical velocity; Failure Analysis.

1. Introdução

A seleção do titânio para uma variedade de aplicações é principalmente a alta resistência mecânica, baixa densidade e excelente resistência à corrosão. Exemplos incluem aeronaves (alta resistência combinado com baixa densidade), motores aeronáuticos (alta resistência, baixa densidade e boa resistência à fluência até cerca de 550ºC), dispositivos biomédicos (resistência mecânica e a corrosão), e em componentes de processo químico (resistência a corrosão) [1].

Quanto ao comportamento à corrosão, na série galvânica de metais, titânio tem um potencial padrão de 1,63 V, na qual é perto do alumínio, conforme ilustrado na Figura 1. Entretanto, titânio não é considerado como sendo um metal intrinsicamente nobre. Ainda a excelente resistência do titânio a corrosão em geral, na maioria dos

Copyright © 2016 ISESC.

ambientes agressivos, é bem conhecida, devido a estável película de superfície de óxido de titânio (TiO_2). Este fino filme promove a passivação e age como uma barreira a corrosão, permanecendo tanto tempo quanto a integridade do filme é mantida[2]. Em geral este é o caso da maioria dos ambientes oxidantes, por exemplos em soluções salinas, incluído cloretos, hipocloritos, sulfatos e sulfitos, e ainda em soluções de ácido nítrico e crômico [2]. Um dos principais motivos da corrosão do titânio é devido à perda da camada protetora. Para a maioria dos metais existe uma velocidade crítica na qual o filme protetor é arrancado, iniciando um acelerado ataque ao metal chamado de corrosão por erosão. A velocidade crítica difere muito de um metal para o outro, e pode ser tão baixa quanto 0,6 m/sec. Para o titânio em soluções salinas (água do mar) esta velocidade é alta, 27 m/sec. Em casos de o fluído conter partículas (como areia) esta velocidade crítica cai para 1,8 m/sec.[2].

Sprays são dispositivos de grande uso na indústria, para uma variedade de aplicação, podendo ser utilizados para segurança em proteções contra fogo, em torres e colunas para aumento do contato do líquido gás etc.

A falha ocorreu com secionamento da espiral, com apenas dois anos de uso. O Spray em questão é utilizado em uma torre de absorção líquido-gás, em um sistema abatimento de gás cloro com solução de hidróxido de sódio conforme figura 1.Normalmente a coluna operara em circulação de uma solução de hidróxido de sódio a 20% em peso, e quando ocorre parada da planta, o gás cloro é desviado para esta torre de absorção para neutralização do cloro. Esta reação do cloro com a soda cáustica produz o hipoclorito de sódio, clorato de sódio, carbonato de sódio e cloreto de sódio. Embora seja uma reação exotérmica a temperatura é controlado com adição de solução fresca de hidróxido de sódio, sempre limitada a 55 ºC.

De acordo com o banco de dados da *National Association of Corrosion Engineers* - NACE[3], todos os materiais da Tabela 1, são compatíveis com titânio. De acordo com um fornecedor de sprays, *BETE Fog Nozzle*, Inc. [4], o material titânio é recomendado para o uso com as substâncias químicas citadas, suportadas pelo do banco de dados Compass Publications Chemical Resistance Guide.

Este trabalho visa analisar a causa da falha do spray, empregado na coluna de absorção mostrada na Figura 2, descrever o mecanismo de atuação da mesma e, principalmente, para determinar ações a serem tomadas para evitar nova falha do componente e garantir a confiabilidade do processo.

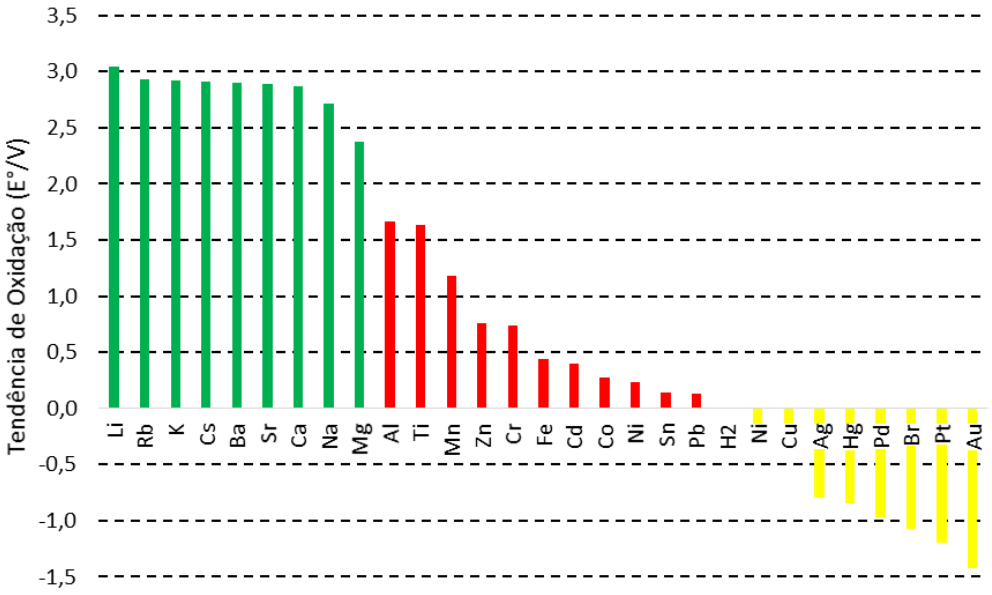


Figura 1. Tendência de oxidação dos metais em condições ambientais normais (diversas fontes) [6].

Copyright © 2016 ISESC

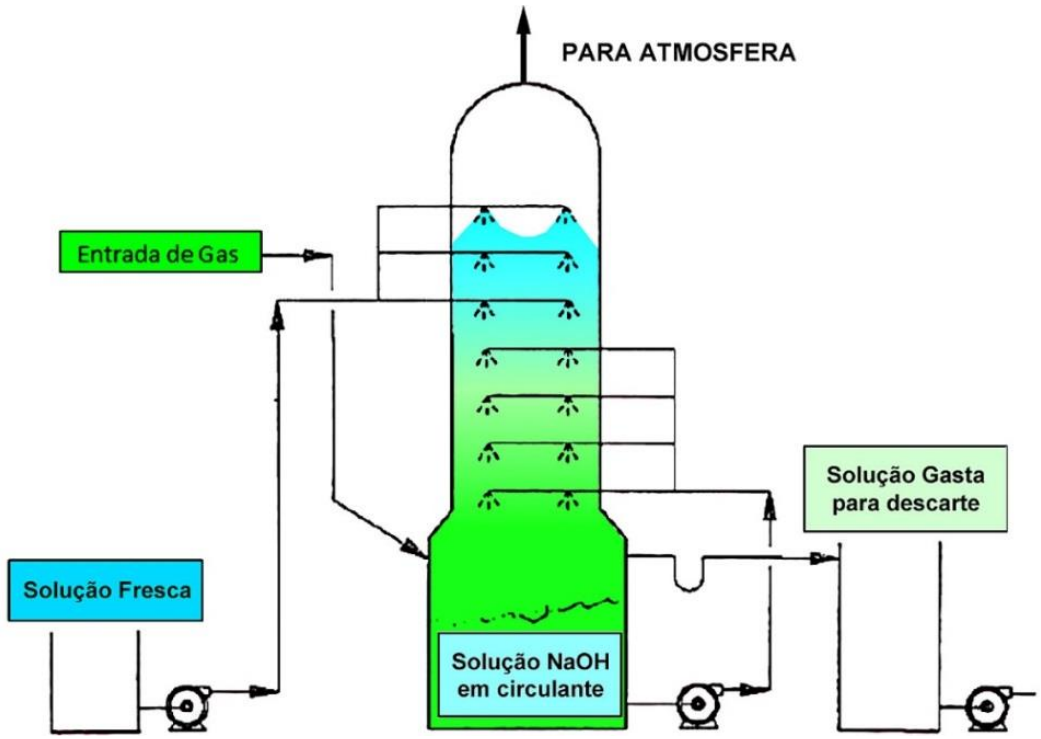


Figura 2. Coluna de absorção.

Tabela 1. Compatibilidade química com o titânio (NACE [3]).

Compatibilidade Químioca		
Hidróxido de Sódio (20%)	NaOH	Excelente até 93ºC
Hipoclorito de Sódio (<20%)	NaClO	Excelente até 93ºC
Cloreto de sódio	NaCl	Excelente até 93ºC
Carbonato de Sódio	Na_2CO_3	Excelente até 93ºC

2. Materiais e Métodos

Para análise do componente falhado foi baseado na estruturação de uma análise de falhas, conforme apresentado por MORAIS *et al.* [5] de acordo com a Tabela 2.

Em primeira fase foi executada uma análise do projeto e processo, confirmando a correta escolha do material. Na segunda fase, foram realizadas análises químicas da solução em circulação, ensaios de macrográficos e análise em microscópico eletrônico de varredura (MEV-EDS).

Copyright © 2016 ISESC

Tabela 2. Roteiro para execução de uma análise de falha [5].

1ª FASE	1.1. Avaliação do modo de falha				
	Pecularieda des do Projeto	Pecularieda des da Manufatura	Condição da unidade do processo	Modo de falha macroscópico	Materiais remanescentes
	1.2. Coleta da informação de fundo (bastidores)				
	Informações sobre o processo	Ensaios de qualidade nos materiais	Função do componente	Condições de operação	Sequência do evento da falha
	1.3. Elaboração de hipóteses para a ocorrência da falha				
2ª FASE	2.1. Análise experimental da falha				
	Plano de testes e coleta de amostras	Ensaios não destrutivos	Ensaios destrutivos	Análises químicas	Simulação (física ou computacional)
	2.2. Avaliação dos resultados obtidos				
	2.3. Validação das hipóteses para as causas da falha				
3ª FASE	3.1. Definição de medidas para mitigar a falha				
	3.2. Relatório final				

3. Resultados e Discussão

O *spray* de titânio utilizado na aplicação em questão não teve seu projeto alterado, é o mesmo utilizado desde o início de operação da coluna de absorção e que não tem apresentado esse tipo de falha. Além disso, não teve nenhuma alteração no processo.

Análise da solução não apresentou sólidos em suspensão que justificassem a corrosão por erosão. Foram analisadas demais parâmetros de processo e nenhum foi alterado, o que pudesse sugerir como causa raiz falha no projeto ou processo.

Entretanto, as fotos da Figura 3 demonstram a existência de um processo corrosivo severo, causando a perda de parte do *spray*, comparado com a condição de um spray novo, também mostrado na Figura 3. Avaliando a peça falhada observa-se que o fluxo estava concentrado em um lado especifico da peça, conforme é possível observar na Figura 4. Naquela posição do *Spray* o desgaste foi maior que nos demais lados do seu diâmetro.

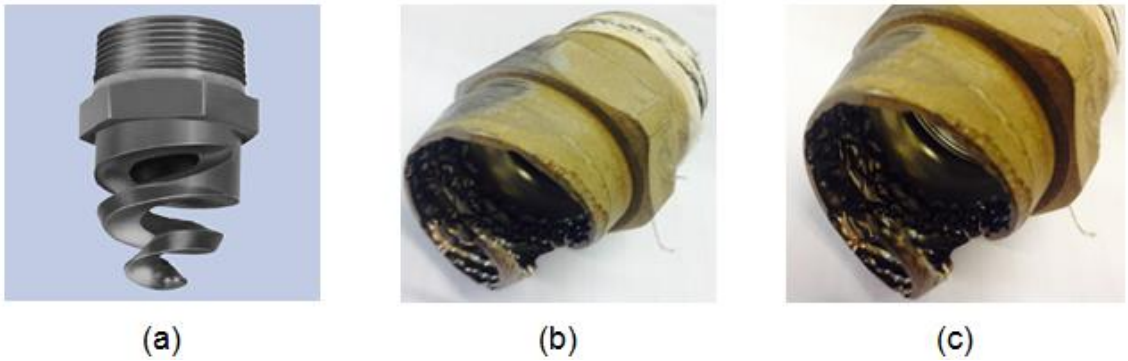


Figura 3. Foto do spray nas condições: (a) original; (b) e (c) na condição de falha.

Copyright © 2016 ISESC

Na análise no Microscópico Eletrônico de Varredura (MEV), foram avaliadas três regiões: área não afetada do spray, área de concentração do fluxo e as cavitações. As cavitações também podem ser observadas na Figura 4, abaixo da região de desgaste localizado marcado nesta Figura. A Figura 5 mostra a região do spray em que não apresentava nenhum desgaste. O resultado de espectroscopia de energia dispersiva (EDS) mostra apenas titânio no mesmo, como esperado.

A região que apresentou um desgaste evidenciando a passagem do fluxo foi analisada no MEV como mostrado na Figura 6. É possivel observar desgaste mecânico nessa região.

Na análise por EDS, além do titânio, foi evidenciada a presença de cálcio, que precisou ser melhor investigada. Nas fotos de maior aumento (500×) é possível observar material impregnado na mesma.

Ao se analisar no MEV a região de cavitações, observaram-se algumas partículas impregnadas no material similares às observadas na região anterior, conforme apresentado na Figura 7. Essas imagens evidenciam que tais partículas, estavam se chocando contra o *Spray*, naquela região, desgastando-o mecanicamente e eventualmente se impregnando à sua superfície. Nesta região foi identificada partículas de cálcio, embora o fluido de circulação não apresente cálcio na sua composição.



Figura 4. Direção do fluxo em um lado do *spray*.

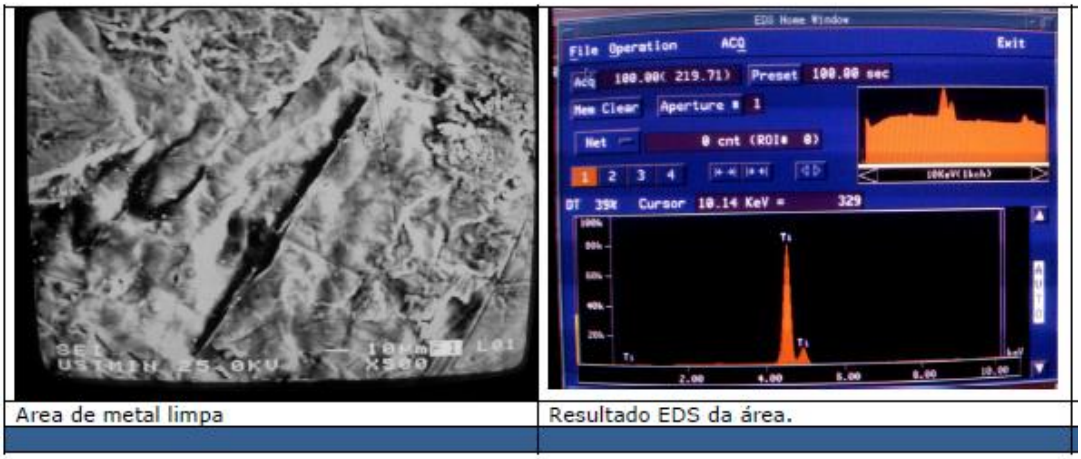


Figura 5. Região do Spray sem anormalidade e sua respectiva análise EDS.

Copyright © 2016 ISESC

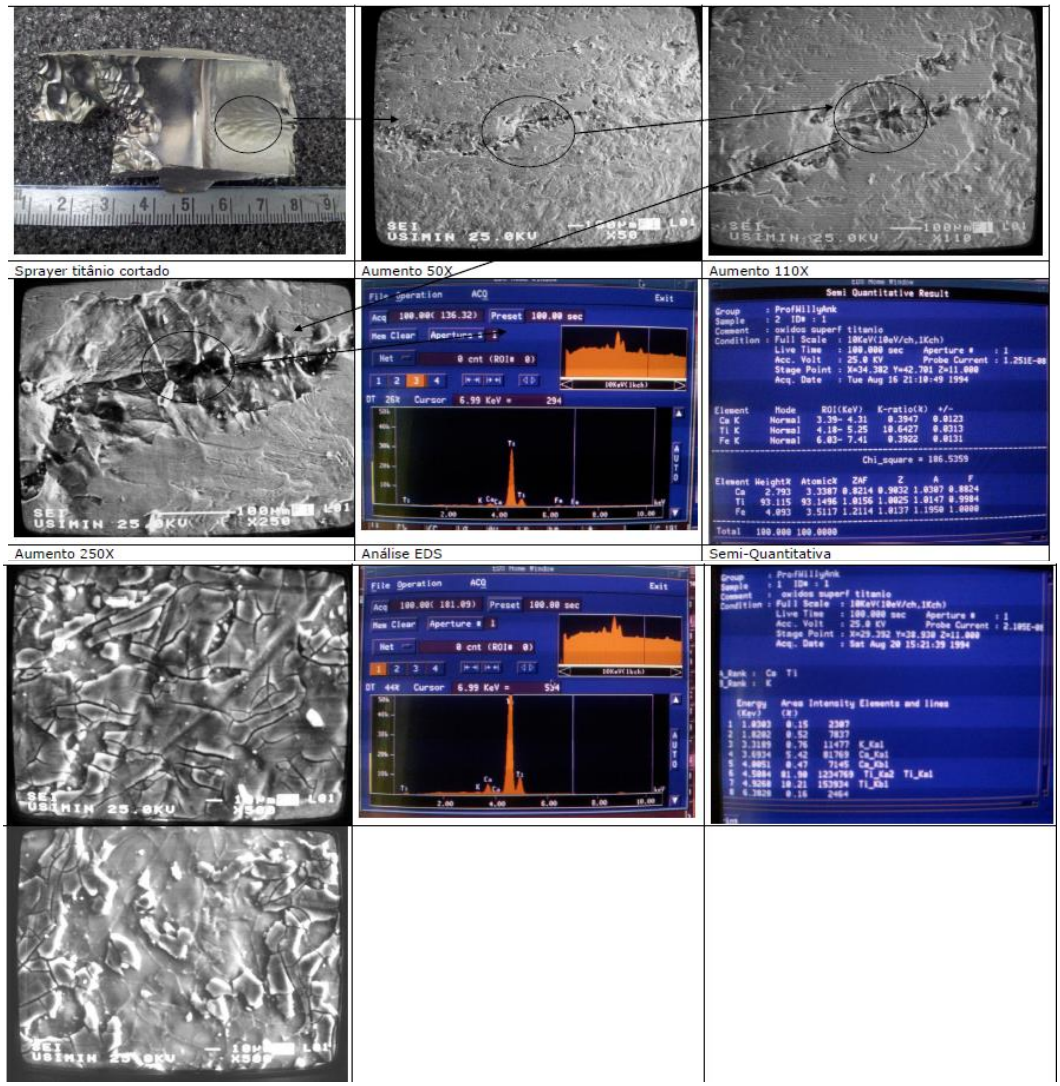


Figura 6. Análise da região com desgaste (MEV).

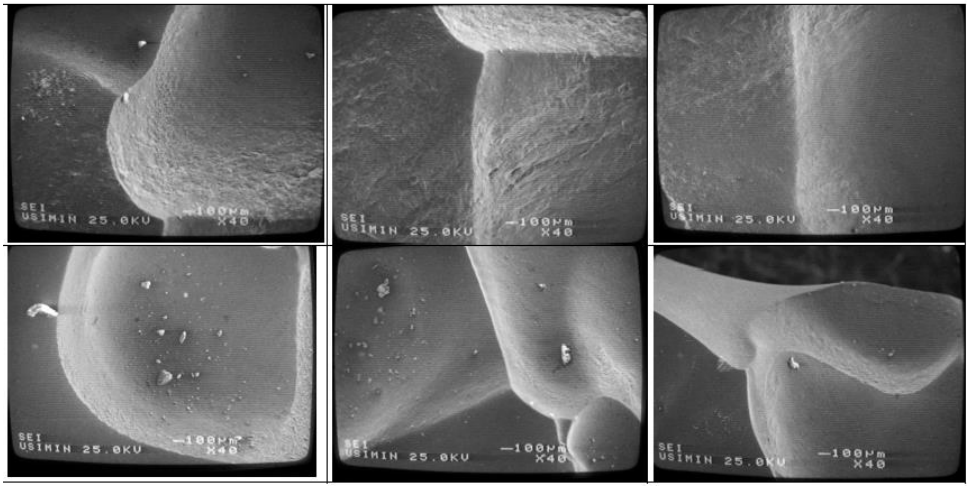


Figura 7. Análise da região que apresentou cavitações.

Copyright © 2016 ISESC

Para melhor investigar a questão, instalou-se um bico de spray de sacrifício em teflon® no lugar de um dos bicos de titânio. Após uso deste spray de sacrifício, foi possível notar partículas de fibra de vidro no Teflon®, conforme apresentado na Figura 8. Através de uma inspeção interna foi evidenciado um desgaste da parede da coluna como mostrado na Figura 9.

O material da coluna é constituído por plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV) e a ausência deste revestimento constituiu-se uma falha na barreira química.

A figura 10 analisada pelo MEV mostra um desgaste observado na região exata da cavitação, mostra resíduos característicos de partículas de vidro.

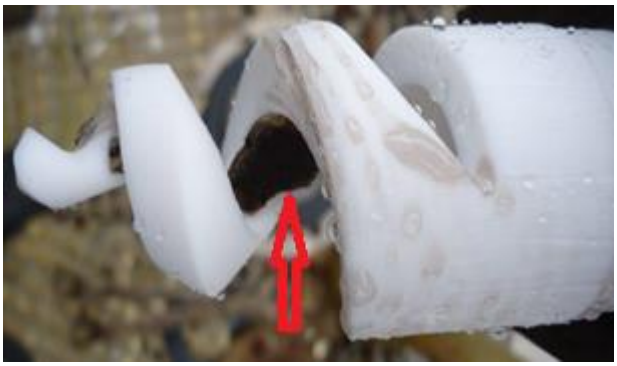


Figura 8. *Spray* com uma partícula de fibra de vidro.



Figura 9. Aspecto interno da coluna de absorção.

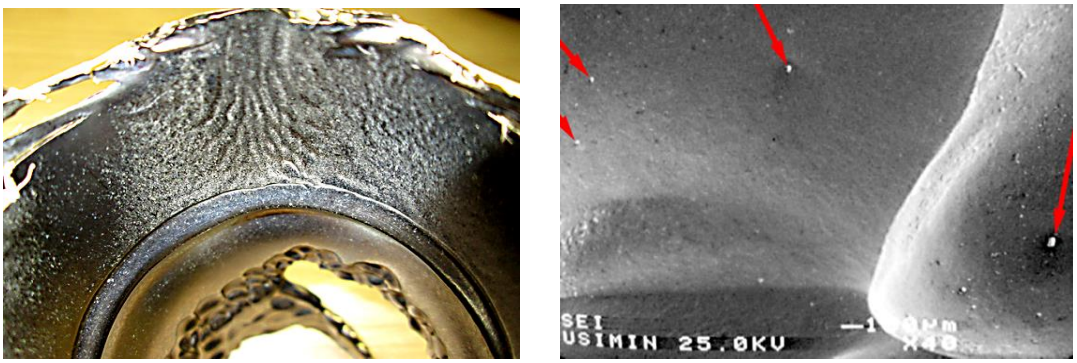


Figura 10. Resíduos na superfície do metal.

Copyright © 2016 ISESC

4. Conclusão

O componente apresentou um severo desgaste erosivo combinando cavitação, devido à alta velocidade do fluido, com a presença de partículas duras, que motivaram a falha prematura observada nos bicos de spray. Os resultados de MEV e EDS não revelaram trincas, e caracterizaram o material integralmente como sendo titânio, que é o apropriado para o uso. Foram detectadas partículas de cálcio, não tendo sido identificados outros sólidos com composições diferentes. Porém deve-se considerar que a análise pode ter sido mascarada pela substituição constante de solução em circulação por solução fresca. As partículas de cálcio identificadas pelo EDS, na região de cavitação, evidencia ser da composição do PRFV, deslocado da parede do vaso (composto por cálcio, sílica entre outros). A Partícula de PRFV encontrado no spray de teste confirma a análise de EDS. O vidro do PRFV possui uma dureza normalmente superior à grande maioria dos metais. Somente metais especiais, empregados como ferramentas de corte ou com recobrimentos especiais possuem durezas superiores. Como recomendação para evitar o ressurgimento da falha pode-se instalar um filtro na circulação do sistema, ou uma caixa de sedimentação, para evitar que partículas atinjam os *sprays*, além da recuperação da barreira química da coluna. Esta condição diminuirá a formação de cavitação associada com a presença de partículas nos bicos do *spray*.

Referências

(1) Titanium - A Technical Guide. Second Edition. ASM International. The Materials Information Society.

(2) George F. Schrader, Ahmad K. Elshennawy - Manufacturing Processes and Materials, Fourth Edition. SME, Society of Manufacturing Engineers.

(3) NACE – National Association of Corrosion Engineers – Sixth Edition 1985.

(4) BETE Fog Nozzle, Inc. http://www.bete.com/ <Acesso em 02/09/2014>.

(5) MORAIS, W.A.; TAVARES, M. M. ; FARIAS, E. S. . A Análise de falhas - Parte 5: Obtenção e avaliação de resultados experimentais. Siderurgia Brasil, v. 15, p. 20-25, 2014.

(6) MORAIS, W.A.; FERNANDES, A.A. Metalurgia Geral: Fundamentos básicos e aplicações. São Paulo: ABM, 2014.

Copyright © 2016 ISESC