

CAUSAS DO TRINCAMENTO DE UMA CAMISA METÁLICA DE BRONZE DO EIXO DE PROPULSÃO DE NAVIO E SUAS CONSEQÜÊNCIAS NO MATERIAL DO EIXO PROPULSOR

Fernando Elias Silvestre Abdalla, M.Sc.

Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro

E-mail: abdalla@amrj.mar.mil.br

Luiz Henrique de Almeida, D.Sc.

Universidade Federal do Rio de Janeiro

E-mail: lha@metalmat.ufjf.br

Angelo Fernando Padilha, Dr.-Ing

Universidade de São Paulo

E-mail: padilha@usp.br

RESUMO

Este trabalho descreve as condições da falha de uma camisa de bronze de um eixo de propulsão de um navio de grande porte. Esta camisa opera envolvida por taliscas de polímero termofixo e entre elas flui água do mar em contato com o bronze. Durante as provas de cais e de mar, após etapa programada de manutenção, foi observado barulho anormal na linha de eixo de BE. Como consequência o navio foi docado e o eixo em questão foi retirado para inspeção. Na análise visual constatou-se a presença de fendas na camisa de bronze e uma seção do mesmo destacada do eixo. Ao mesmo tempo foi observado depósitos de bronze na superfície das taliscas e evidências de superaquecimento. As fendas observadas no eixo propiciaram a penetração da água do mar na interface bronze/aço formando uma pilha galvânica dando início ao processo corrosivo do eixo que ao longo do processo formaram sulcos de até 4mm de profundidade. Foram retiradas amostras para análise química, análise metalográfica e ensaios de tração. A causa atribuída para a falha mecânica do eixo está associada à trepidação excessiva ocorrida durante a operação de reversão causando falha de refrigeração. O atrito entre a camisa e a parte superior da talisca levou a um superaquecimento combinado co esforço mecânico. A liga de bronze em questão possui uma fusão insipiente de apenas 315°C devido a elevada concentração de chumbo e a grande quantidade de partículas desse elemento distribuídas nos contornos de grão favorecendo a nucleação e a propagação de trincas intergranulares.

Palavras-chave: Corrosão Galvânica, Ligas de Bronze, Aço ligado, Eixo propulsor.

ABSTRACT

This work describes the conditions of the failure of a bronze jacket of a shaft of propulsion of a ship of great transport. This jacket operates involved for stave of polymer thermorigid and between them water of the sea in contact with bronze flows. During the tests of wharf and sea, stage after programmed of maintenance, was observed abnormal racket in the line shaft BE. As a consequence the ship was docked and the line shaft in question was removed for inspection. In the visual analysis it was evidenced presence of cracks in the bronze jacket and a section of the same detached of the shaft. At the same time it was observed bronze deposits in the surface of the stave and evidences of overheating. The cracks observed in the shaft had propitiated the penetration of the water of the sea in the interface bronze/steel having formed a galvanic cell initiating the corrosion process of the shaft along which the process of grooves formed by 4mm deep. Samples for chemical analysis, metallography analysis and tensile tests had been removed. The cause attributed for the failure mechanics of the shaft is associated with the occured extreme trepidation during the operation of reversion causing loss of cooling failure. The friction between the jacket and the top brass of the stave has led to overheating combined with mechanical stress. The bronze alloy in question with incipient fusion has only 315 ° C and due to the amount of lead particles dispersed in the form of grain, was the fusion of these particles, causing the emergence and cracks propagation.

Keywords: galvanic corrosion, bronze alloys, alloy steel, propeller shaft

1 - INTRODUÇÃO

Durante o ciclo operativo de um navio, uma série de reparos é planejada de forma a mantê-lo em condições seguras por toda sua vida útil.

Após cada reparo, é realizado uma série de testes dos diversos sistemas do navio. Esses testes visam garantir que o meio naval volte a operar de forma segura e são divididos em diversas etapas, sendo as mais importantes as chamadas prova de cais, onde o navio fica atracado no cais e todos os sistemas são colocados em funcionamento sem movimentação do meio, e a prova de mar. Este último é o teste final do navio, onde os sistemas, além de serem colocados em funcionamento, simulam a operação real do navio a plena carga. Naturalmente, estes testes são graduais e demandam tempo de teste.

Durante a prova de cais do navio, como parte dos testes programados, foi necessária a reversão do eixo propulsor de boreste (BE). No momento da reversão, observou-se uma grande vibração durante alguns segundos e, aparentemente, não houve danos ao navio. Os testes prosseguiram e após 07 meses, o navio estava pronto para iniciar a prova de mar.

Na primeira saída do navio para a prova de mar, foi observado um barulho anormal na linha de eixo de BE. Foi realizada inspeção com mergulhadores e nada foi observado. Com isso, foi programada a segunda saída do navio e durante este deslocamento o barulho persistiu. Como se tratava de navio de grande porte e a linha de eixo fazer parte de um sistema vital do navio optou-se por docá-lo.

Após a docagem, foi retirada a seção da linha de eixo que apresentava o barulho. Esta seção possui 20 metros de comprimento, 680 mm de diâmetro externo e 605 mm de diâmetro interno e peso de 22 toneladas. Ainda no fundo do dique, conforme ilustra a Figura 1, foi observado que a camisa de bronze apresentava fissuras que estavam distribuídas pelo segmento de 3 metros, praticamente em todas as direções e se apresentavam preenchidas com depósitos, evidenciando não se tratar de fissura recente.



Figura 1: Fotografia da camisa de bronze e numerosas fissuras.

2 - DESCRIÇÃO DA FALHA

Foi observado que numa região houve destacamento da camisa, conforme ilustram a Figura 2 apresentada em seguida.



Figura 2: Detalhe da camisa do eixo trincada mostrando uma região em que houve destacamento de parte da camisa e numerosas trincas secundárias e produtos de corrosão na parede do eixo de aço.

A Figura 3 mostra o trecho responsável pela causa principal do barulho que a linha de eixo apresentava. Esta seção estava solta e foi retirada facilmente com auxílio de algumas ferramentas

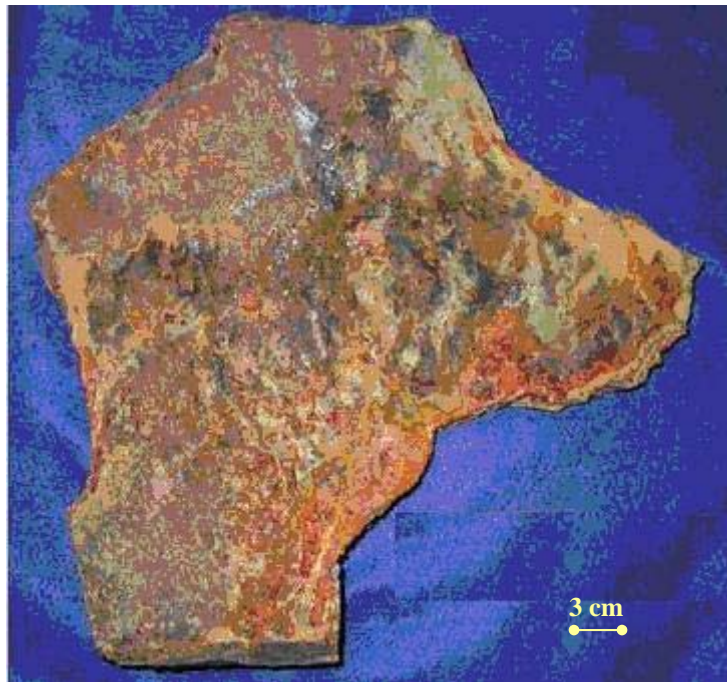


Figura 3: Segmento responsável pelo barulho na linha de eixo, mostrando na face junto ao eixo produtos de corrosão.

3 - RETIRADA DE AMOSTRAS PARA CARACTERIZAÇÃO DA LIGA DE BRONZE UNS C92600

O segmento que sofreu destacamento foi retirado e, posteriormente, seccionado para obtenção de duas amostras para observação microestrutural, uma no sentido radial e outra no sentido transversal, e 4 corpos de prova para ensaio de tração nas orientações marcadas conforme ilustra a Figura 4.

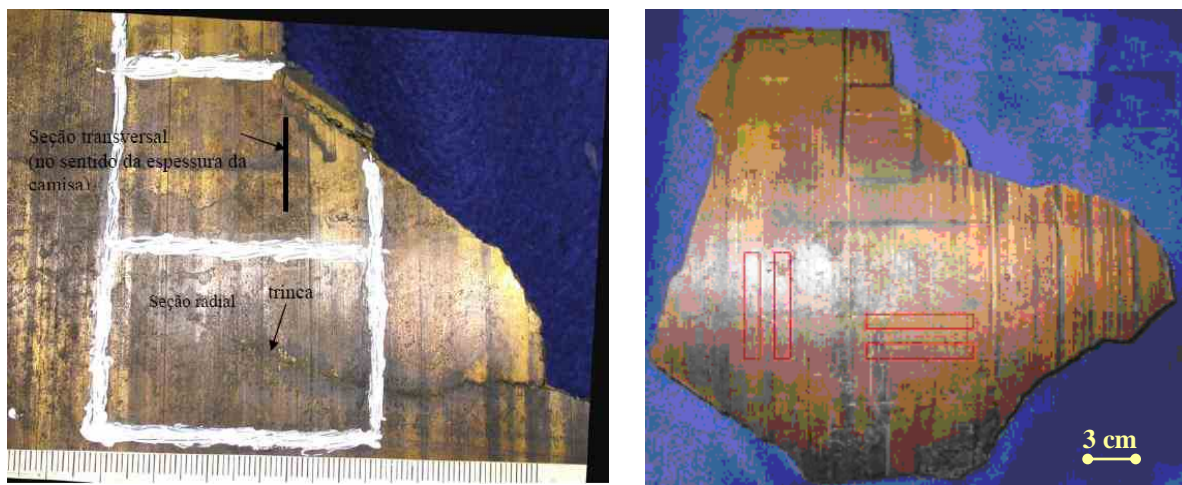


Figura 4: Detalhe do segmento retirado para análise indicando a posição da retirada dos corpos de prova para metalografia e ensaio de tração.

4 - ANÁLISE QUÍMICA DO MATERIAL DA CAMISA

A análise química foi realizada nos laboratórios do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro e o resultado da presente liga corresponde à liga de Bronze C92600 como pode ser evidenciada nas tabelas 1 e 2, apresentadas em seguida.

Tabela 1: Composição Química da amostra (% em peso)

Elementos	Resultado da amostra em %
Cobre	84,4
Chumbo	1,25
Ferro	0,0016
Estanho	13,4
Zinco	0,58
Fósforo	0,01
Alumínio	Traços

Tabela 2: Composição Química da liga C 92600 (% em peso)

Elementos	Resultado da amostra em %
Cobre	87
Chumbo	1,2
Estanho	10
Zinco	2

Fonte: ASTM B584

5 - ANÁLISE MICROESTRUTURAL

As imagens a seguir apresentam as micrografias após polimento e ataque metalográfico com sulfeto férrico.

5.1 Microscopia ótica - Seção Radial:

Essa região corresponde à parte mais externa da camisa e, dessa forma, como consequência do processo de fabricação por centrifugação apresenta um teor de Pb mais elevado. Essa concentração de Pb diminui na medida em que se aproxima do diâmetro interno da peça.

As Figuras 5, 6, 7, 8 e 9 apresentam microestrutura da seção radial mostrando grãos da liga monofásica α de CuSn, vazios e partículas grosseiras de Pb nos contornos de grão.

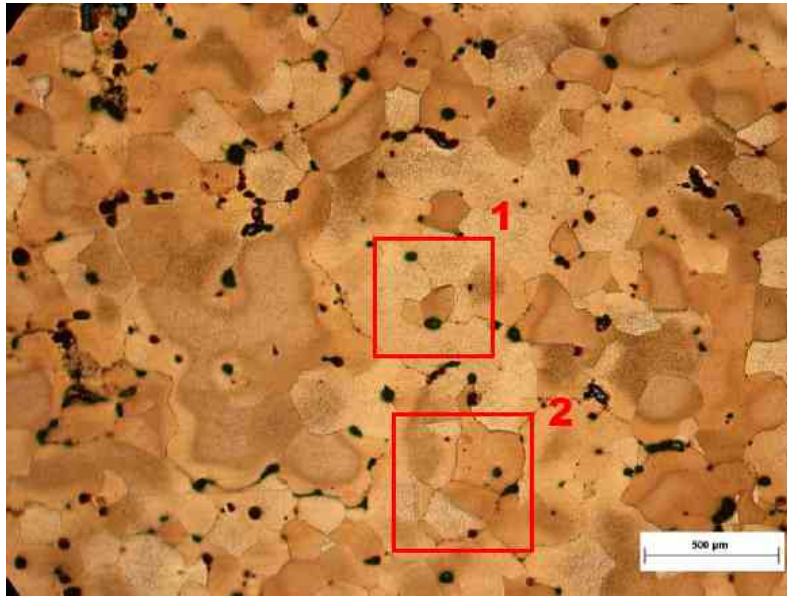


Figura 5: Aspecto geral da microestrutura da seção radial mostrando grãos da liga monofásica α de CuSn, vazios e partículas grosseiras de Pb nos contornos de grão.



Figura 6: Aspecto geral da microestrutura da seção radial mostrando grãos da liga monofásica α de CuSn, vazios e partículas grosseiras de Pb onde podem ser observados também finos precipitados decorando os contornos. Detalhe 1 da figura 5.

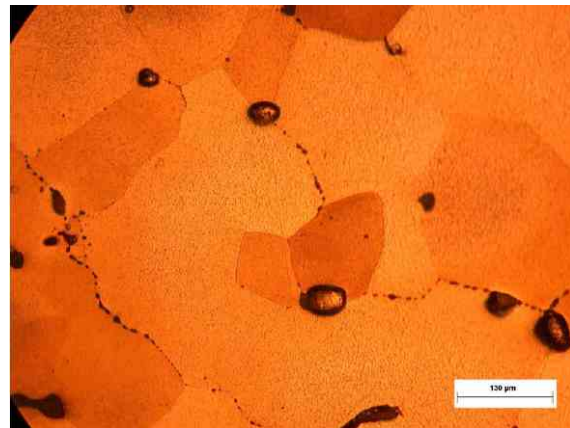


Figura 7: Figura anterior, mostrando finos precipitados observados com um maior aumento decorando os contornos de grão.

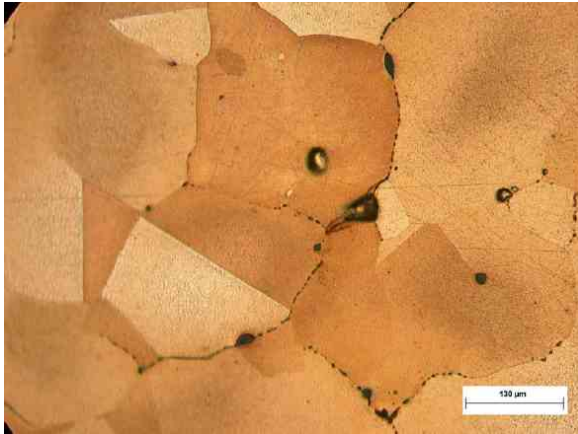


Figura 8: Finos precipitados observados com um maior aumento decorando os contornos de grão. Detalhe 2 da figura 5.

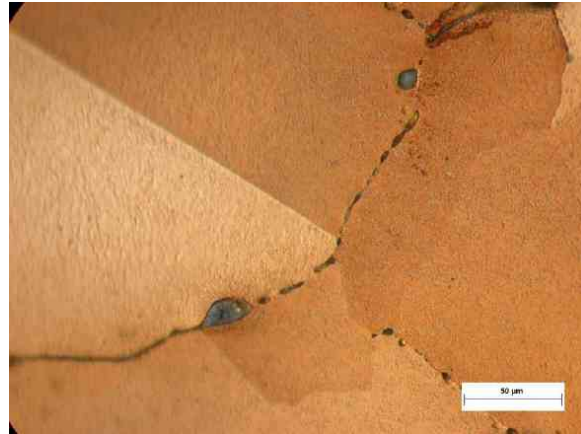


Figura 9: Figura anterior mostrando finos precipitados com aumento maior nos contornos de grão.

As figuras 10, 11, 12, 13, 14 e 15 apresentam um aspecto geral da microestrutura da seção radial junto a região trincada mostrando grãos da liga monofásica α de CuSn, vazios e partículas grosseiras de Pb nos contornos de grão bem como a presença de trincas intergranulares.

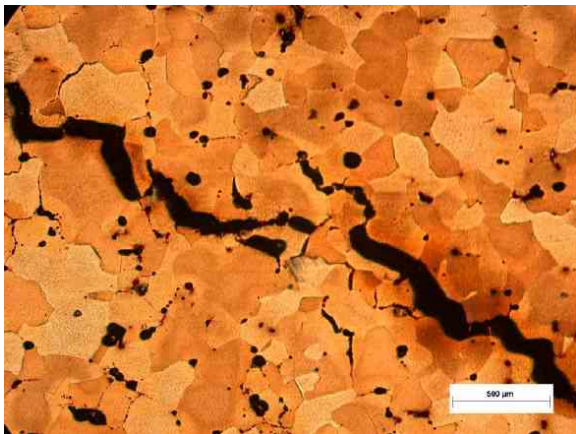


Figura 10: Aspecto geral da microestrutura da seção radial junto a região trincada mostrando grãos da liga monofásica α de CuSn, vazios e partículas grosseiras de Pb nos contornos de grão bem como a presença de trincas intergranulares.



Figura 11: Detalhe da região da figura 10 mostrando com maior aumento a presença de trincas secundárias intergranulares.

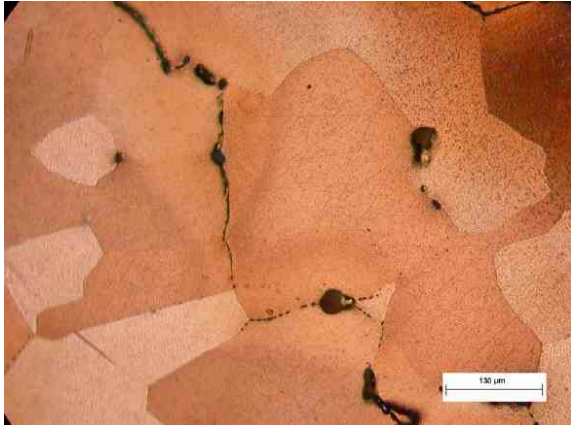


Figura 12: Detalhe de trincas intergranulares acompanhando os finos precipitados nos contornos de grão.

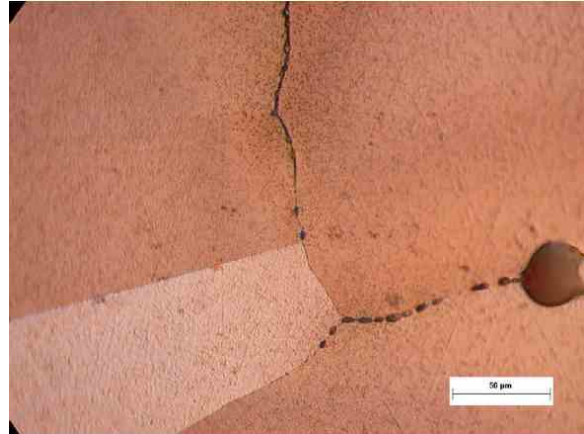


Figura 13: Foto anterior com aumento maior mostrando trincas secundárias percorrendo o contorno decorado por finos precipitados.

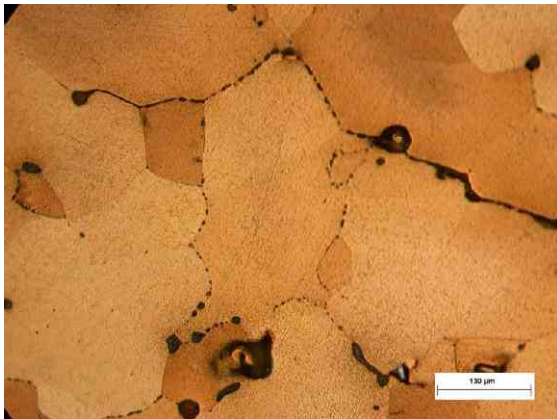


Figura 14: Detalhe de uma trinca secundária intergranular e finos precipitados decorando os contornos de grão.

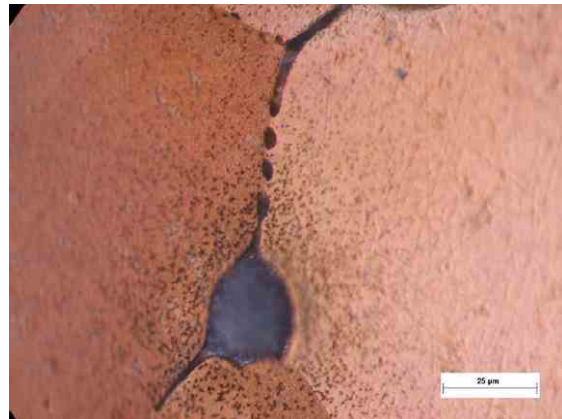


Figura 15: Destaque com precipitados típicos grosseiros e finos ao longo dos contornos de grão.

5.2 - Observação por MEV (elétrons retroespalhados) - Seção transversal.

As figuras 16 e 17 apresentam a microestrutura observada com elétrons retroespalhados, detalhe trinca intergranular e precipitados de chumbo nos contornos de grão (fase clara, maior peso atômico)

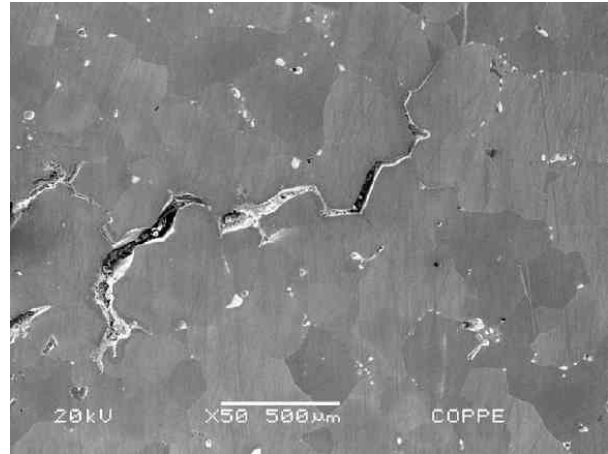
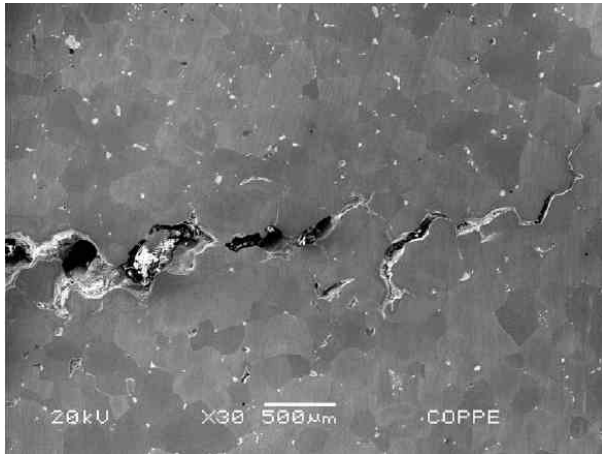


Figura 16: Microestrutura observada com elétrons retroespalhados, detalhe trinca secundários, detalhe trinca intergranular e intergranular e precipitados de chumbo nos contornos de grão (fase clara, maior peso atômico)

Figura 17: Microestrutura elétrons retroespalhados, detalhe trinca secundários, detalhe trinca intergranular e intergranular e precipitados de chumbo nos contornos de grão (fase clara, maior peso atômico)

6 - ENSAIOS DE TRAÇÃO

Embora a microestrutura apresente, particularmente na região mais próxima ao diâmetro externo, características microestruturais que poderia causar perdas de propriedades, isso não se refletiu nos resultados de tração. As tabelas 3, 4 e 5 apresentam respectivamente os resultados de tração no sentido transversal e radial e as propriedades de tração esperadas para essa classe de liga.

Tabela 3: Ensaio de tração da amostra no sentido transversal

Corpos de prova	Tensão de escoamento (Mpa)	Tensão Máxima (Mpa)	Varição de comprimento (%)
CP1	151,8	318,8	38
CP2	154,8	311,1	34

Tabela 4: Ensaio de tração da amostra no sentido radial

Corpos de prova	Tensão de escoamento (Mpa)	Tensão Máxima (Mpa)	Varição de comprimento (%)
CP1	162,5	327,3	37
CP2	157,7	340,8	38

Tabela 5: Propriedades de tração da liga UNS C92600

Corpos de prova	Tensão de escoamento (Mpa)	Tensão Máxima (Mpa)	Varição de comprimento (%)
C92600	140	304	30

Fonte: ASTM B584

7 - ANÁLISE DAS TRINCAS OU FISSURAS

A micrografia da Figura 18 evidencia que as fissuras se apresentavam preenchidas com depósitos, evidenciando não se tratar de fissura recente. Embora a quantidade de depósitos não permita uma previsão acurada do tempo de exposição, pode-se afirmar que as trincas ficaram expostas pelo menos por vários meses. A análise elementar (dos elementos químicos metálicos presentes) com dispersão de energia (Figura 19) revelou que os depósitos eram muito ricos em cálcio, provavelmente carbonato de cálcio.

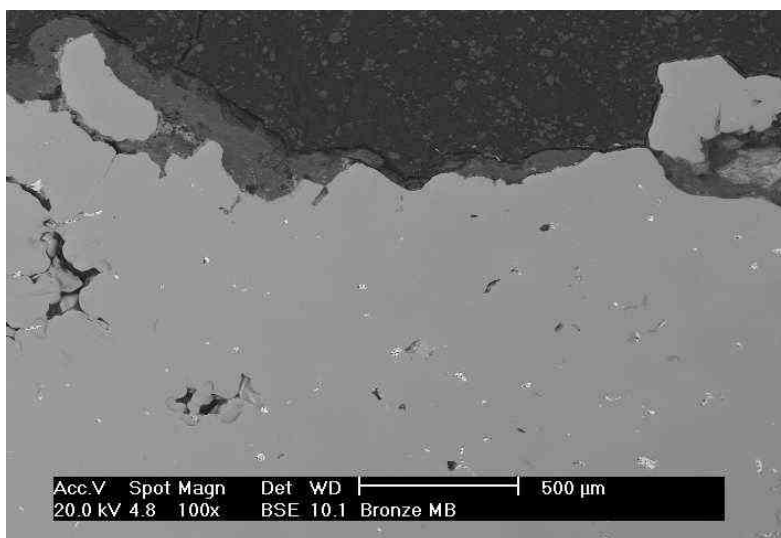


Figura 18: Micrografia da região das trincas ou fissuras mostrando que as mesmas estão preenchidas com depósitos

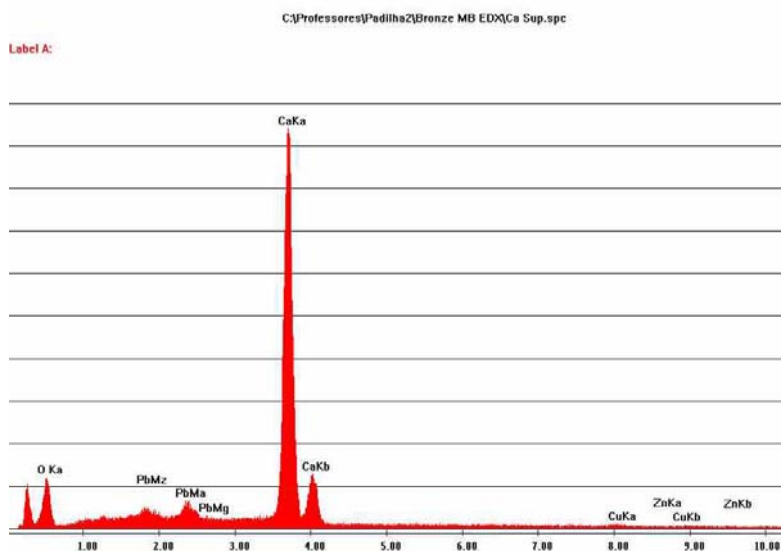


Figura 19: Espectro de dispersão de energia de raios X dos depósitos que preenchem as fissuras.

8 - ANÁLISE DAS TALISCAS POLIMÉRICAS

A camisa opera envolvida por taliscas ou sarrafos de polímero termofixo. Entre as taliscas e a camisa de bronze flui água do mar.

As superfícies das taliscas, na face voltada para a camisa de bronze, apresentam evidências de impregnação de material de bronze, proveniente do contato da camisa com a superfície da talisca, de sobre-aquecimento e degradação. As figuras 20 e 21 apresentam a talisca degradada e outra pronta para ser instalada. Observa-se claramente o acentuado nível de degradação.

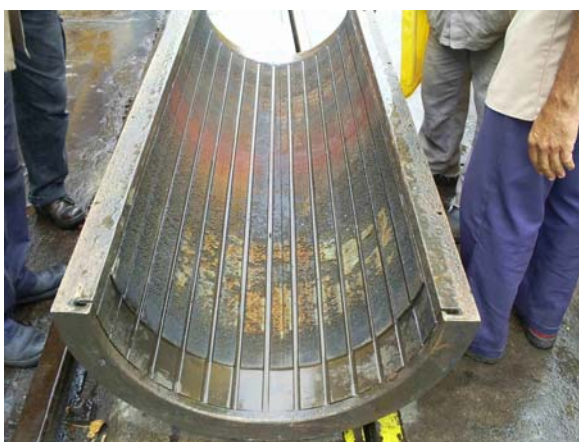


Figura 20– Fotografia da superfície da talisca



Figura 21: Fotografia da superfície das “taliscas” da região da camisa danificada e a nova pronta para ser instalada

9 - A CORROSÃO NO EIXO E SUAS CONSEQUÊNCIAS

Após a retirada da camisa de bronze da superfície do eixo propulsor, foi observado uma série de veios ao longo dos 03 metros por onde a camisa de bronze fica alojada. Os veios alcançaram a profundidade de até 4 mm.

Isto ocorreu porque com o rompimento da camisa de bronze, as fendas geradas pelas trincas proporcionaram a penetração de água salgada na interface bronze/aço, formando uma pilha galvânica e dando início ao processo corrosivo do eixo. Nas figuras 22 e 23 observa-se a vista da camisa com realce das trincas coincidentes com a corrosão do eixo.



Figura 22. Vista do eixo com realce das linhas de corrosão e vista da camisa com realce das trincas coincidentes com a corrosão do eixo.



Figura 23. Vista do eixo com realce das linhas de corrosão e vista da camisa com realce das trincas coincidentes com a corrosão do eixo.

Como consequência e por se tratar de um eixo de grande porte, cerca de 20 metros de comprimento com 22 toneladas de peso, a presença da corrosão acarretaria, no mínimo, limitação da rotação do eixo propulsor, com consequente perda de desempenho do meio

naval. Como se trata de Navio de grande porte, isso implicaria em restrição operacional. A possibilidade de enchimento com solda dos veios de corrosão foi estudada, porém a região ficaria fragilizada, uma vez que, devido as dimensões do eixo não teria como tratá-lo termicamente pós reparo.

10 - CONCLUSÕES

- Na análise visual da superfície das taliscas poliméricas foram observados depósitos de bronze e evidências de superaquecimento.
- Com o rompimento da camisa de bronze, as fendas geradas pelas trincas proporcionaram a penetração de água salgada na interface bronze/aço, formando uma pilha galvânica e dando início ao processo corrosivo do eixo.
- Pela observação do aspecto intergranular das trincas, presença de fissuras, da quantidade de material depositado encontrado e os sulcos de profundidade de até 4 mm observados na superfície do eixo, demonstram que o rompimento da camisa de bronze não havia sido recente.
- Com isso, a possível causa para a falha da camisa de bronze foi que com a reversão da rotação do eixo, houve uma trepidação acentuada causando falha de refrigeração. O atrito entre a camisa de bronze e a parte superior da talisca, levou a um superaquecimento combinado com esforço mecânico. Como a liga de bronze da camisa possui fusão incipiente com apenas 315 °C, devido à grande quantidade de partículas de chumbo dispersas nos contornos de grão, houve a fusão destas partículas, provocando o surgimento e a propagação das trincas.

11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] J. R. Davis: Copper and copper alloys, ASM Speciality Handbook®, ASM International, Ohio, USA, 2001.

[2] G. Joseph: Copper, ASM International, Ohio, USA, 1999.

[3] K. Dies: Kupfer und Kupferlegierungen in der Technik, Springer Verlag, Berlin, 1967.