



ATAQUE CORROSIVO A EQUIPAMENTOS DE UMA PLANTA DE SEPARAÇÃO DE AR¹

Danilo Borges Villarino de Castro²
 Jeferson Aparecido Moreto²
 Otávio Contart Gamboni²
 Dirceu Spinelli³
 José Ricardo Tarpani⁴

Resumo

O principal objetivo deste trabalho foi o de investigar as possíveis causas da corrosão interna apresentada em um compressor de ar instalado numa planta de separação de ar de uma empresa especializada na produção de gases industriais, bem como a corrosão desenvolvida em outros componentes da planta de fracionamento de ar (flanges e válvulas). Para uma completa avaliação dos componentes, foram realizados os seguintes procedimentos experimentais e investigativos: análise visual *in loco* de todos os componentes que foram acometidos ao ataque corrosivo; análise química dos produtos de corrosão por intermédio das técnicas de espectrofotometria de absorção atômica e de precipitação de sulfato de bário e análise do teor de ferrita dos componentes afetados por intermédio de um ferritoscópio. Com este trabalho, foi possível a identificação dos três mecanismos de corrosão causados pelo meio ambiente agressivo na unidade de separação do ar: corrosão devida à exposição de partes metálicas ao ácido sulfúrico diluído, corrosão por célula de aeração diferencial (flange), e corrosão devido à formação de pares galvânicos formado por diferenças microestruturais nas válvulas.

Palavras-chave: Corrosão interna; Planta de fracionamento de ar; Corrosão por aeração diferencial; Corrosão galvânica.

CORROSIVE ATTACK TO EQUIPMENTS AN AIR SEPARATION PLANT

Abstract

The present work aimed to investigate the possible causes of internal corrosion presented in an air compressor installed in an air separation plant, at specialized company industrial gases production, as well corrosion developed in other parts of the plant fractionation air (flanges and valves). For a complete evaluation of the components, experimental procedures and investigates were carried: in situ visual analysis of all components that have been affected by corrosive attack, chemical analysis through Atomic Absorption Spectrometry (AAS) of corrosion product, barium sulfate precipitation analysis and ferrite content of the components analysis by ferritoscope. It was possible through this work identify three corrosion mechanisms caused by aggressive environment in the air separation unit: corrosion due to exposure of metal parts to dilute sulfuric acid, differential aeration cell (flange) corrosion and galvanic couples formation corrosion by microstructural differences in the valves.

Key-words: Internal corrosion; Air separation plant; Differential aeration corrosion; Galvanic corrosion.

¹ Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.

² Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais – SMM/EESC/USP.

³ Professor Titular do Departamento de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística (SMM) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP).

⁴ Professor Doutor do Departamento de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística (SMM) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP).

1 INTRODUÇÃO

É sabido que o fenômeno de corrosão é responsável pelo consumo de aproximadamente 20% da produção mundial de ferro e aço. Na tentativa de reduzir este índice tão alarmante, esforços tecnológicos são realizados visando à proteção desses metais.⁽¹⁾

O objetivo deste trabalho foi o de investigar as possíveis causas da corrosão interna apresentada em um compressor de ar instalado numa planta de separação de ar de uma empresa especializada na produção de gases industriais, bem como a corrosão desenvolvida em outros componentes da planta de fracionamento de ar (flanges e válvulas).

O compressor é basicamente um equipamento eletro-mecânico, capaz de captar o ar que está no meio ambiente e armazená-lo sob alta pressão num reservatório próprio. Os compressores de gás ou de processo podem ser requeridos para as mais variadas condições de operação, de modo que toda a sua sistemática de especificação, projeto, operação, manutenção, depende fundamentalmente da aplicação.⁽²⁾

A Figura 1 apresenta de forma esquemática a disposição dos componentes no compressor de ar.

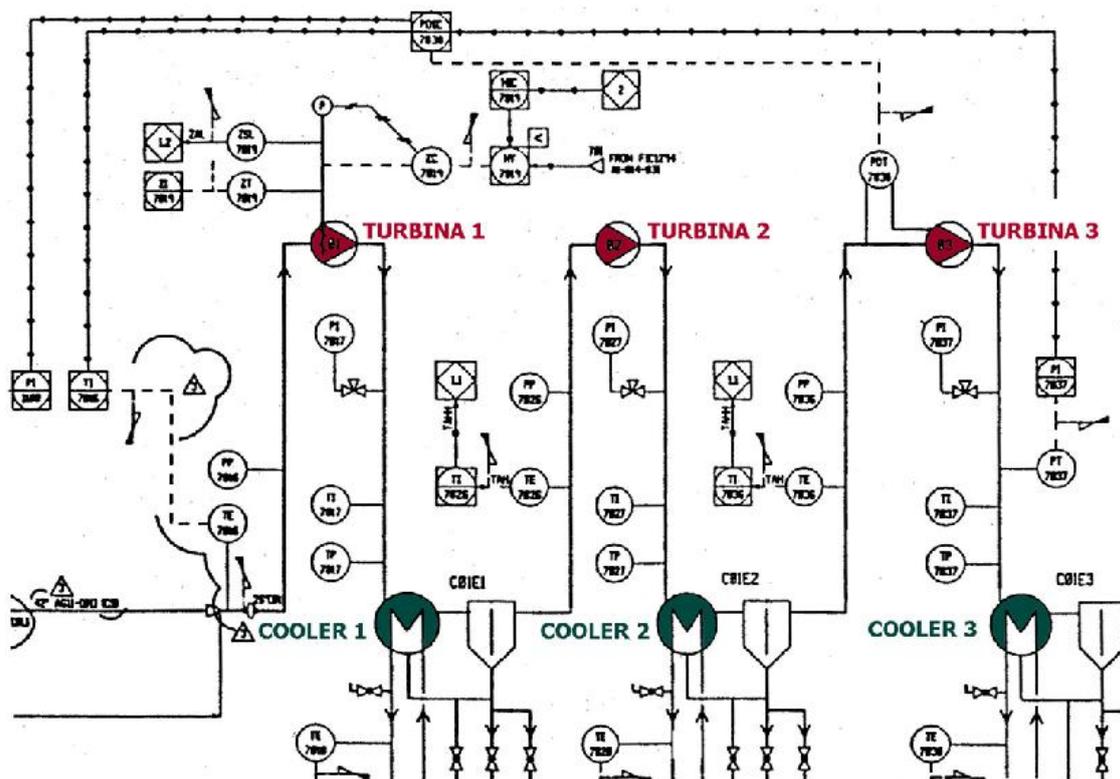


Figura 1. Esquematização parcial do compressor de ar. Os posicionamentos das turbinas e dos respectivos trocadores de calor são identificados.

O funcionamento do equipamento é, basicamente, como se segue: o ar atmosférico é coletado sob condições ambientais de pressão e temperatura, passando sequencialmente por três turbinas de compressão, após as quais a temperatura pode atingir até 130-140°C, a uma pressão de 2-4 bar.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada uma inspeção visual do componente. Análise química, tanto qualitativa como quantitativa, foram realizadas em todos os produtos de corrosão coletados ao longo do circuito do compressor de ar. O objetivo destas análises foi, além da identificação da natureza desses produtos, o de correlacionar o teor de enxofre (nas formas de sulfato e sulfeto), em relação à localização dos produtos de corrosão no circuito do compressor. Esta correlação teria, portanto, o objetivo de demonstrar que o aumento do dano por corrosão, à medida que se avança para estágios subseqüentes no equipamento, é diretamente proporcional ao aumento da concentração do agente corrosivo (H_2SO_4), gerado da reação do SO_2 , presente na atmosfera em que o ar é coletado, com a umidade naturalmente desenvolvida no interior do compressor. Neste intuito, a concentração de cátions metálicos, oxidados durante o processo corrosivo, também forneceria importantes subsídios na comprovação da hipótese acima estabelecida.

Na identificação de cátions metálicos foi utilizada a técnica (AAS). Foram analisados os elementos Fe (do aço carbono, que basicamente constitui o compressor de ar), Cr e Ni (presentes nos rotores das turbinas) e Zn (das chapas galvanizadas dos filtros de ar).

Na identificação dos ânions sulfeto e sulfato, tendo em vista a expectativa de que a atmosfera rica em SO_2 é o fator determinante do processo corrosivo, utilizou-se a técnica de precipitação de sulfato de bário.

Por intermédio de um ferritoscópio foram realizadas análises do teor de ferrita nas carcaças das válvulas fabricadas com aço inoxidável fundido especificado como sendo de grau CF-8M. Foram preparadas três macro-regiões na superfície das carcaças da válvula que apresentava o mais intenso ataque corrosivo, onde foram feitas cinco medidas da porcentagem de ferrita.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2(a) apresenta uma vista do coletor de ar atmosférico que alimenta o compressor de ar. Todas as janelas de entrada do coletor possuem filtros de ar. Já na Figura 2(b), nota-se o aspecto do piso no interior do coletor, onde se verifica uma corrosão branda, porém generalizada. Observa-se que a tela de proteção possui uma malha suficientemente grossa que possibilita a passagem de fragmentos que possam eventualmente danificar as pás das turbinas do compressor.



(a)



(b)

Figura 2. (a) Coletor de ar atmosférico (setas indicam algumas entradas de ar) e (b) piso de chapas de aço corroído no interior do coletor de ar.

Na Figura 3 é apresentado um detalhe dos filtros de ar vistos do interior do coletor. O ataque corrosivo é notório, com extensiva liberação de produtos de corrosão, cujos fragmentos estão passíveis de serem sugados para o interior do compressor. As setas indicam o material destacado das telas do filtro, bem como das chapas galvanizadas que as sustentam.



Figura 3. Filtros de ar do coletor (setas indicam produtos de corrosão).

A Figura 4 mostra as pás da válvula garganta (IGV) que precede imediatamente a primeira das três turbinas do compressor de ar, e cuja função é regular o fluxo de passagem de ar a ser comprimido. Não obstante nenhum dano tenha sido visualmente detectado neste componente, a face posterior das pás estava impregnada de por um pó negro.

Uma vista frontal do compressor de ar é fornecida na Figura 5, sendo que a primeira turbina à direita, e a terceira e última situada à esquerda na foto. A segunda das três turbinas localiza-se exatamente atrás da primeira.



Figura 4. Válvula garganta do primeiro estágio do compressor.



Figura 5. Vista frontal do compressor de ar.

Na Figura 6(a) verifica-se a corrosão de válvulas de aço inoxidável austenítico CF-8M, do sistema de vaporização atmosférica do oxigênio e do nitrogênio, que é tipicamente desenvolvida quando na presença de fase ferrita em excesso. Ao contrário do flange, a corrosão das válvulas tem um caráter mais grave, tendo em vista ser potencialmente um ataque mais localizado, conduzindo eventualmente à perfuração e vazamento do componente.



Figura 6. Válvulas de aço inoxidável CF-8M apresentando ataque corrosivo.

A Tabela 1 apresenta os resultados em termos de concentração de cátions metálicos e ânions sulfeto e sulfato nos produtos de corrosão extraídos do compressor de ar.

Dessa maneira, embora o Cr (dos rotores das turbinas) não tenha sido detectado nas análises de cátions, existe a possibilidade de que ele não tenha sido liberado em quantidades suficientemente elevadas dos produtos de corrosão, para ser identificado nos ensaios de laboratório. Por outro lado, o material que constitui os rotores, um aço AISI 14-4 PH (martensítico endurecível por precipitação), apresenta boa resistência à corrosão em atmosfera industrial oxidante (o que inclui o SO₂).

Tabela 1. Concentração de cátions metálicos e ânions sulfeto e sulfato nos produtos de corrosão extraídos do compressor de ar (valores expressos em mg/g de produto de corrosão)

Posição no compressor	Aspecto do produto	Cátions ⁽¹⁾	Ânions ⁽²⁾
Coletor de ar	Areia	Zn = 180 Ni < 0,008 ⁽³⁾ Fe = 1,6 Cr < 0,005 ⁽³⁾	Sulfato (SO ₄ ²⁻) = 290 Sulfeto (S ²⁻) = 0,012
Coletor de ar	Flocos brancos	Zn = 240 Ni < 0,008 ⁽³⁾ Fe = 1,2 Cr < 0,005 ⁽³⁾	Sulfato = 410 Sulfeto = 0,001
IGV 1° estágio	Café	Zn = 9,0 Ni = 1,8 Fe = 8,7 Cr < 0,005 ⁽³⁾	Sulfato = 275 Sulfeto = 0,018
Bocal 2° turbina	Carepa de óxido	Zn = 0,05 Ni < 0,008 ⁽³⁾ Fe = 0,53 Cr < 0,005 ⁽³⁾	Sulfato = 12 Sulfeto = 0,009
Descarga para 3° turbina	Carepa de óxido + minério verde	Zn = 0,06 Ni < 0,008 ⁽³⁾ Fe = 1,4 Cr < 0,005 ⁽³⁾	Sulfato = 16 Sulfeto = 0,006
Voluta do 3° estágio	Minério verde	Zn = 220 Ni = 0,6 Fe = 7,0 Cr < 0,005 ⁽³⁾	Sulfato = 500 Sulfeto = 0,024

⁽¹⁾ e ⁽²⁾ Não houve dissolução total do produto de corrosão na solução aquosa; ⁽³⁾ Se existentes, estão numa concentração abaixo da detectável.

Os resultados da Tabela 1 revelam que o último estágio (3° voluta) acumula todos os produtos carreados a partir dos pontos anteriores do circuito, incluindo o Ni, encontrado em altíssima quantidade nas pás do IGV do 1° estágio, e o Zn presente no sistema de filtragem do ar coletado. Pode-se inferir que o acúmulo de material pode comprometer, a médio e longo prazo, o funcionamento do equipamento, bem como a qualidade do produto final.

Verifica-se que no coletor de ar, bem como no IGV do 1° estágio, Zn e Fe, na forma de sulfato, e provavelmente na forma de óxido, no caso do último elemento, foram determinados em grandes quantidades.

As análises referentes ao bocal da 2ª turbina e à descarga para a 3ª turbina não apontam para a presença de sulfato em grande quantidade, embora o Fe esteja presente em proporções consideráveis. Tal fato muito provavelmente advenha da pequena dissolução dos produtos de corrosão coletados nestes dois locais, os quais se apresentavam na forma de placas bastante densas e compactadas.

No entanto, com base em dados da literatura, pode-se afirmar que os danos nas partes de aço carbono do compressor de ar, em especial nas imediações dos 2° e 3° estágios de compressão, decorreu do ataque do H₂SO₄ ácido sulfúrico gerado na presença de umidade. O ganho de massa da camada oxidada (ou perda de massa do componente metálico) devido à corrosão do aço carbono comum pelo ataque por

H_2SO_4 originado da umidade em um ambiente contendo SO_2 pode ser visto através da Figura 7.

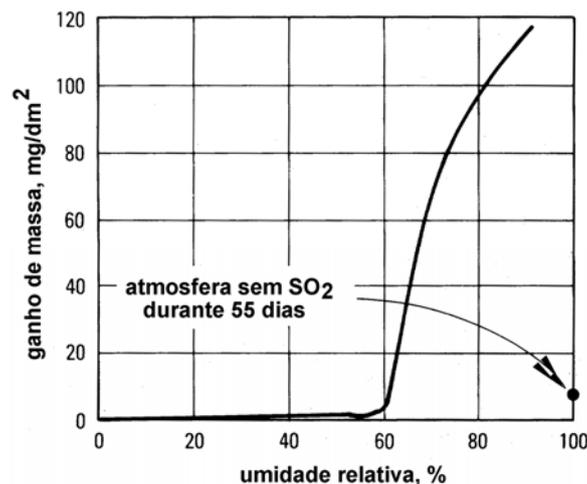


Figura 7. Efeitos da umidade relativa e da poluição ambiental na corrosão de aço carbono comum. Curva para uma concentração de SO_2 de 0,01% e ataque durante 55 dias. A umidade crítica é da ordem de 60%.⁽³⁾

O gráfico da Figura 7 mostra que a presença de umidade acima de um valor crítico (função da concentração do ácido e do tempo de exposição ao produto) é fundamental para o desenvolvimento e aceleração do processo corrosivo. No canto baixo direito do diagrama é indicada a taxa de corrosão para o aço carbono comum quando exposto a um ambiente cuja umidade é de 100%, porém na ausência de SO_2 . O efeito acelerador do SO_2 na corrosão também é óbvio. Isto demonstra indiretamente que, na presença de SO_2 e umidade, o mecanismo prevalente de degradação do aço carbono é a sulfatização, às expensas da oxidação (i.e., enferrujamento).

A Tabela 2 apresenta o teor de ferrita nas carcaças das válvulas fabricadas com aço inoxidável fundido especificado como sendo de grau CF-8M em três regiões (% em peso).

A máxima porcentagem de fase ferrita usualmente especificada para componentes de aço inoxidável fundido, classificados como CF-8M para utilização criogênica é de 5%. Observa-se assim, que os teores da fase ferrita detectados na válvula analisada estão muito acima deste valor. Portanto, uma das causas prováveis do intenso ataque corrosivo observado nesses componentes da planta está relacionada com a ocorrência de altas quantidades deste microconstituente na microestrutura do material, agravada certamente pela presença de um ambiente rico em SO_2 .

Tabela 2. Presença de ferrita nas válvulas de CF-8M (% em peso).

Região	Máximo	Mínimo	Médio
1	10,1	5,5	7,5
2	10,2	7,0	8,3
3	10,5	6,8	8,1



4 CONCLUSÕES

A análise de falha dos equipamentos da planta de separação de ar possibilitou dentro das restrições estabelecidas algumas conclusões interessantes, listadas a seguir.

O ambiente rico em SO₂, em que opera o compressor de ar, propiciou a maior parte dos danos por corrosão no interior do equipamento. Nessas circunstâncias, existe o risco iminente de falha mecânica e comprometimento completo do equipamento segundo um ou mais mecanismos postulados no corpo do trabalho;

O desgaste observado no bocal de uma das turbinas de compressão de nitrogênio, assim como a corrosão de um dos flanges da etapa de liquefação não têm, em princípio, implicações mais graves no funcionamento dos equipamentos;

O ataque corrosivo generalizado observado nas carcaças das válvulas especificadas como sendo de CF-8M pode, a médio e longo prazo, levar ao comprometimento operacional desses componentes.

Uma sugestão para evitar este problema seria a adoção de sistemas mais eficientes de filtragem do ar atmosférico. Sistemas independentes e em série de filtros para, respectivamente, partículas suspensas (fuligem) e gás SO₂ presentes em grandes quantidades no ambiente em questão.

Outra sugestão seria a manutenção periódica do sistema para retirada de material carregado ao longo do circuito de compressão e acumulado em pontos preferenciais do mesmo, em especial nos dois estágios finais.

Uma terceira sugestão é a substituição do material que constitui o feixe de tubos e os espelhos dos trocadores de calor do compressor de ar, que revelaram altos índices de dissolução do latão almirantado. Estudos com base em relatos anteriores similares e na literatura especializadas estão sendo conduzidos no sentido de selecionar material mais adequado para operar nas condições agressivas reportadas neste estudo.

O revestimento dos bocais de entrada de ar para as turbinas, através de aspersão de material metálico inerte ao ataque por SO₂ seria interessante, de modo a melhorar as características de resistência à corrosão do corpo do compressor de ar nas localidades mais críticas.

Por fim, a troca das válvulas de aço inoxidável CF-8M por de mesma especificação, porém com teor de ferrita dentro de níveis compatíveis à aplicação em questão.

Agradecimentos

Os autores expressam os seus agradecimentos ao Departamento de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística da EESC – USP pelo uso de seus equipamentos e instalações.

REFERÊNCIAS

- 1 OLIVATO, D.J. Zincagem a quente. Zinco e Corrosão, n.1, p.6-8, 2000.
- 2 FERREIRA, N.B. Utilidades de processos. Apostila do curso de Engenharia Mecânica, Ateneu Santista, 2008.
- 3 ASM METALS HANDBOOK. *Corrosion*. Vol.13, 1987.