

COMPRESSOR AR DE ALIMENTAÇÃO- FABRICA DE OXIGÊNIO Nº 1 DA ARCELORMITTAL AÇOS PLANOS AMÉRICA DO SUL - ENGENHARIA REVERSA NOS ROTORES DO 3º E 4º ESTÁGIOS DE COMPRESSÃO*

Eduardo Luiz Sales Marinho¹

Adilson Campo Ferrarini²

Flavio Altoé Franco³

Resumo

A Fábrica de oxigênio da AMT produz gases O₂ e N₂, utilizados no processo de produção de aço. Neste processo de fracionamento de ar, existe um compressor de ar que é responsável pela captação do ar atmosférico. Este compressor é do tipo centrífugo de 4º estágios de compressão, fabricação Hitachi, e tem capacidades de vazão de 114.000 Nm³/h e pressão de descarga 5.4 Kg/cm². Em Novembro de 2012, foi realizada inspeção no compressor e identificado trincas nas pás do impelidor do 4º st e perda de espessura de parede das pás do impelidor do 3º st de compressão. Houve perda da confiabilidade de operação do equipamento, sendo necessária uma ação para correção do problema. Depois de identificado a causa raiz das trincas, foi decidida a compra de dois novos impelidores com modificações no material para aumentar a resistência à corrosão. Na aquisição dos novos impelidores havia duas possibilidades: 1) Adquirir novos impelidores junto ao fabricante original do equipamento; 2) Adquirir novos impelidores por processo de engenharia reversa (levantamento de desenhos da peça desgastada para fabricação de uma nova) em conjunto com empresa especializada. Este trabalho irá mostrar os critérios e considerações que levaram a AMT decidir pela compra de novos impelidores por “Engenharia Reversa”, bem como, suas vantagens e riscos assumidos.

Palavras-chave: Engenharia reversa; Compressores; Impelidores; Corrosão.

FEED AIR COMPRESSOR – OXIGEN FACTORY 1 – ARCELORMITTAL FLAT STEEL SOUTH AMERICA – REVERSE ENGINEERING IN ROTOR OF 3 AND 4 STAGES OF COMPRESSION

Abstract

The oxygen factory of AMT produces O₂ and N₂, this gases are used in the steel production process. In this air separation process, there is one air compressor that is responsible to capture the atmosphere air. This compressor is centrifugal of 4 stages of compression, made by Hitachi and have flow capacity of 114.000 Nm³/h and discharge pressure of 5,4 Kg/cm². In november of 2012 an inspection was made in the compressor and cracks were spotted on the 4th stage's impeller blades and reduction of thickness on the 3rd stage's impeller blades. There was reliability reduction of the equipment operation and an action to solve the problem was required. After identified the root of the cracks, it was decided to buy two new impellers made of a different material to increase corrosion resistance. There were two possibilities on the acquisition of the impellers: 1) Acquire new impellers from the manufacturer; 2) Acquire new impellers from reverse engineering (gather of the original element drawing in order to make a new one) from a specialized company. This paper will show the criterion and considerations that made AMT decide to buy new impellers from “Reverse Engineering” as well as its advantages and assumed risks.

Keywords: Reverse engineering; Compressors; Impellers; Corrosion.

¹ Eng. mecânico, especialista em manutenção mecânica, área de energia, ArcelorMittal Tubarão, ES, Brasil.

² Eng. mecânico, Gerente de Planejamento e inspeção, área de energia, ArcelorMittal Tubarão, ES, Brasil.

³ Eng. mecânico, Coordenador de Engenharia, equipe de materiais e desenvolvimento, IEM, ArcelorMittal Tubarão, ES, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A Fábrica de oxigênio da AMT produz gases O₂ e N₂, utilizados no processo de produção de aço. Esses gases são produzidos em seis plantas de fracionamento sendo três da AMT e três externalizadas. A falta do produto implica no gasto com vaporização de líquido ou até mesmo compra em caso de paradas muito prolongada. Esta então justificada a necessidade de manter todas as plantas de fracionamento confiáveis e produtivas.

As fabricas de oxigênio n^o1 e n^o2 entraram em operação em 1983 e no processo de fracionamento de ar de cada planta, existe um compressor de ar que é responsável pela captação do ar atmosférico FOX 1 compressor MC1200 e FOX 2 MC2200. Estes compressores são do tipo centrífugo de 4^o estágios de compressão, fabricados pela empresa Hitachi, e tem capacidades de vazão de 114.000 Nm³/h e pressão de descarga 5.4 Kg/cm². Durante uma parada para manutenção no equipamento em Novembro de 2012, foi realizada inspeção no compressor MC-1200 e identificado trincas nas pás do impelidor do 4^o st e perda de espessura de parede das pás do impelidor do 3^o st de compressão. Houve perda da confiabilidade de operação do equipamento, sendo necessária uma ação para correção do problema. Com auxílio de nossa engenharia de materiais, chegamos a conclusão que o equipamento estava exposto a muita condensação no 3^o e 4^o estágios de compressão, causando processo de corrosão nos rotores, perda de espessura e trinca de pás. Depois de identificado a causa raiz das trincas, foi decidida a compra de dois novos impelidores com modificações no material para aumentar a resistência à corrosão.

Na aquisição dos novos impelidores havia duas possibilidades: 1) Adquirir novos impelidores junto ao fabricante original do equipamento; 2) Adquirir novos impelidores por processo de engenharia reversa (levantamento de desenhos da peça desgastada para fabricação de uma nova) em conjunto junto com empresa especializada. Este trabalho irá mostrar os critérios e considerações que levaram a AMT decidir pela compra de novos impelidores por “Engenharia Reversa”, bem como, suas vantagens e riscos assumidos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Características Técnicas Compressor MC-1200

– Tipo:	Centrífugo;
– Fabricante:	Hitachi
– Modelo:	IDHB- GH, DH-112;
– Número de estágios:	4;
– Número de intercoolers:	3;
– Vazão de ar:	114.000 Nm ³ /h;
– Pressão de sucção:	- 300 mm Aq;
– Pressão de descarga:	5.2 Kg/cm ² ;
– Humidade relativa:	90%;
– Gas:	Ar
– Rotação eixo pinhão de baixa:	5.242 rpm;
– Rotação eixo pinhão de alta:	6.290 rpm;
– Rotação Bull-gear:	1.190 rpm;
– Motor tipo:	Indução;
– Potência:	10.000 Kw;
– Rotação:	1.190 rpm.

2.2 - Análise dos Desgaste dos Rotores

Em inspeção realizada em dezembro de 2012 foi encontrado rotor do 4º estágio com trincas e desgaste de pás. O rotor do 3º estágio apresentava desgaste de pás do compressor MC-1200 FOX 1. A engenharia de materiais da AMT analisou a trinca e o desgaste dos rotores e atribuiu a processo de corrosão devido a contato destes com umidade do ar na sucção dos estágios de compressão. Registro fotográfico da inspeção realizada:



Foto: Mapeamento de trincas e desgaste do rotor do compressor MC-1200
Fonte: ArcelorMittal Tubarão

2.3 - Definição dos Materiais de Fabricação

O material de fabricação original dos rotores é um aço liga de baixo percentual de cromo da norma jis designado como SNCM2, com as seguinte composição:

Tabela nº1

C %	Mn %	Cr %	Mo %	Si %	S %	P %
0.40 ~ 0.50	0.15 ~ 0.45	1.20 ~ 1.50	0.15 ~ 0.35	0.10 ~ 0.40	≤ 0.03	≤ 0.03

Fonte: <http://appleoo.buy.opencroquet.org/pz5bdc97e-astm-6f7-din-1-2767-gb-45nicrmo16-jis-sncm2.htm>

A decisão de troca do material do rotor por um material com maior resistência a corrosão, optou-se então por um material com alto teor de cromo, trata-se do aço **AISI: 630 (17-4 PH)**, que é aplicado em peças de aeronaves, equipamentos de campos de petróleo e turbomaquinas. Propriedades químicas:

Tabela nº2

C %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %	W %	Si %	OUTROS %
máx. 0,07	máx. 1,00	16,25	4,00	máx. 0,50	-	≤ 1,00	Cu=4,00 Nb+Ta=0,30

Fonte: <http://www.villaresmetals.com.br/pt/Produtos/Acos-Inoxidaveis/Endureciveis-por-Precipitacao-PH/V630-17-4PH-UNS-S17400>

2.4 - Escolha do Modo de Aquisição dos Rotores

Foi decidido pela AMT adquirir rotores para os rotores do 3º e 4º estágios de compressão para os compressores de alimentação MC-1200 FOX 1 e MC-2200 FOX II, visto que, o compressor da FOX II também apresentava desgaste pás mas sem indicação de trincas.

Definimos duas formas possíveis de adquirir os sobressalentes para substituição no compressor, engenharia reversa ou adquirindo do próprio fabricante do equipamento.

Para o MC-1200 a estratégia é a realização do reparo através do processo de engenharia reversa, devido ao grau de risco atual, pois a falha do rotor pode indisponibilizar a FOX-1 por um período longo.

Para o MC-2200 a meta é aquisição dos componentes original junto ao fabricante. O processo de engenharia reversa possui um grau de risco, porém temos em nossa área experiências positivas de reparo que qualificam as empresas para a realização do serviço.

Tabela nº3

MC-1200 – Engenharia Reversa			
Fornecedor	Valor	Prazo	Obs
Sulzer	R\$ 1.400,00	6 meses	Realizou engenharia reversa no rotor da turbina 1 e 2
Siemens/Turbocare	cotação	cotação	Realizou engenharia reversa no rotor da turbina da TRT

Fonte: ArcelorMittal Tubarão.

Tabela nº4

MC-2200 – Conjunto original			
Fornecedor	Valor	Prazo	Obs
Hitachi	R\$ 2.200,00	18 meses	Fabricante compressor

Fonte: ArcelorMittal Tubarão.

2.5 - A Especificação Técnica do Serviço

O escopo de serviço definido para esta aquisição, foi baseado na experiência da equipe de engenheiros da ArcelorMittal Tubarão que atuam na área de energia e estão descritos nas etapas do processo de engenharia reversa.

2.6 - A Empresa Escolhida Para Processo de Engenharia Reversa

A área de energia da ArcelorMittal Tubarão já realizou engenharia reversa com dois prestadores de serviços na área de turbomaquinas que operam a nível mundial. A empresa Sulzer service, já realizou engenharia reversa em pás de compressor axial, pás e rodas de estágio de turbina a vapor. A empresa Turbocare, já realizou engenharia reversa em um rotor de uma turbina de recuperação de topo do Alto Forno nº1 da AMT.

O trabalho de engenharia reversa dos rotores foi entregue a empresa Sulzer service. A empresa Sulzer service é especializada em serviços em turbo maquinas. Conta com um parque industrial capaz de realizar serviços tais como:



Foto: Centro de serviços Sulzer service - Houston – Texas – USA

Fonte: Sulzer Service.

- Reparos em turbinas ou compressores;
- Reparo em componentes de turbinas a gás;
- Fabricação e repalhetamento de turbinas;
- Serviços de campo;
- Repotenciação de turbinas e compressores;
- Balanceamento;
- Teste de sobrevelocidade em rotores de compressores, turbinas e geradores;
- Laboratório para realização de ensaios de tração, raio X e NDT's.

2.7 - As Etapas do Processo de Engenharia Reversa

2.7.1 - Levantamento de campo

Em Abril de 2013 - Em função da impossibilidade de envio do conjunto girante de rotores do compressor, para fazer engenharia reversa na fábrica da Sulzer service em Houston – Texas – USA, pois, deixaria a planta de fracionamento de ar indisponível algumas semanas, impactando em riscos operacionais e custos com compra de criogênicos. Foi aberto compressor na AMT, removido o conjunto girante e disponibilizado o mesmo na oficina da AMT para realização do trabalho no campo. A preparação realizada para o serviço foi a fabricação de um suporte robusto para apoiar conjunto girante e a fixação do mesmo em uma bancada única que pudesse acomodar os dois braços scanner que fizeram simultaneamente o levantamento da geometria dos rotores.

O trabalho foi supervisionado por um engenheiro da Sulzer service Houston que sub contratou uma empresa brasileira para realizar o serviço de campo.



Foto: Scanner dos rotores. Geração da geometria do sobressalente a ser fabricado.
Fonte: ArcelorMittal Tubarão

2.7.2 - Inspeção na fabrica

Em novembro de 2013 - Teste assistido de sobre velocidade a 115% da rotação nominal do rotor que é 6290 rpm, inspeção dimensional para verificar deformação máxima permitível após spin test, ensaio de partículas magnéticas para detecção de trincas, usinagem final, inspeção dimensional, novo teste de partículas magnéticas para detecção de trincas e balanceamento dos rotores. Período de 04 a 09/11/13 na empresa Sulzer - Cidade de La porte – Texas – USA.

2.7.3 – Spin test

Teste realizado para atestar a estrutura do material soldado. Submete-se o impelidor a uma rotação 115% acima da rotação nominal em um túnel de vácuo e após realizado esta sobre velocidade, são feitas inspeções para verificar se não houveram deformações dimensionais acima do permitido no teste. Os dois rotores da AMT foram testados e aprovados para etapa seguinte.

2.7.4 – NDT test

O NDT TEST é um ensaio não destrutivo para verificar se houveram trincas nas soldas das pás dos rotores. O ensaio aplicado é o de partículas magnéticas que detecta trincas superficiais e subsuperficiais (até 3mm). Os dois rotores da AMT foram testados e aprovados para etapa seguinte.

2.7.5 – Final machining

Usinagem final para correção do diâmetro externo, interno e retifica do diâmetro interno. Os dois rotores da AMT foram submetidos a esta usinagem final e encaminhados para etapa seguinte.

2.7.6 – Final dimensional inspection

A inspeção dimensional final é realizada com o equipamento que faz o levantamento dimensional para realização de engenharia reversa, portanto, não deve haver diferenças entre o desenho de fabricação e este levantamento final. Os rotores da AMT foram submetidos a este levantamento e não apresentaram problemas dimensionais. Por solicitação da AMT foi conferido com micrometro tubular o diâmetro interno do rotor que irá determinar a interferência entre eixo e cubo na montagem do conjunto girante. Seguimos para a próxima etapa

2.7.7 – NDT test

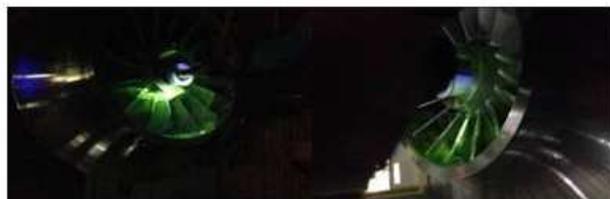
Realizado novo teste não destrutivo para detecção de trincas após a usinagem final. Feito teste de partículas magnéticas para detecção de trincas superficiais. Os rotores foram aprovados e seguiram para ultima etapa antes da expedição.

2.7.8 – Final balancing

O balanceamento dos rotores sé realizado utilizando-se um eixo auxiliar balanceado, que é montado no rotor com uma interferência máxima de 0,02mm. O balanceamento é realizado em baixa rotação em torno de 450 rpm e o grau de balanceamento é o G 1, que prevê desbalanceamento residual final abaixo de 1 grama de massa desbalanceadora. Além do balanceamento é feita uma verificação do batimento do rotor para ver se existem deformações na periferia dos diâmetros, assim como se não existe batimento na face lateral. No rotor do 3º estágio estes valores não chegaram a 0,02mm. O rotor do 3º estágio foi iniciado dia 09/11/13 e finalizado balanceamento no domingo dia 10/11/2013 e o 4º estágio foi balanceado na segunda feira dia 11/11/2013. Os dois rotores foram aprovados.



SPIN TEST – TESTE DE SOBREVELOCIDADE A 115% DA ROTAÇÃO NOMINAL DE 6290 RPM



TESTE PARA DETECÇÃO DE TRINCAS APÓS SOBREVELOCIDADE



USINAGEM FINAL



INSPEÇÃO DIMENSIONAL FINAL



VERIFICAÇÃO DO RUNOUT E BALANCEAMENTO



Fotos: Inspeções e testes assistidos pelo cliente na fábrica da Sulzer Service – USA
Fonte: ArcelorMittal Tubarão

2.7.9 - Montagem final

A montagem dos rotores no conjunto girante aconteceu no site da AMT com a presença de um técnico da Sulzer service.

O conjunto girante foi desmontado do compressor e levado até a oficina da AMT onde o conjunto de rotores sofreram goivagem das pás e usinagem dos cubos. Este trabalho foi realizado para aproveitar eixo pinhão existente.



CORTES DOS ROTORES NACALDEIRARIA

USINAGEM DO CUBO NA MANDRILHADORA



INSTALAÇÃO DE SUPORTES PARA APOIO DO MACACO HIDRÁULICO USADO NA ABERTURA DOS CUBOS SEM DANIFICAR O EIXO

Foto: Desmontagem dos rotores com trincas e desgaste de palhetas
Fonte: ArcelorMittal Tubarão

A sequência do trabalho foi o aquecimento controlado dos rotores novos (350°C), resfriamento do eixo com nitrogênio líquido e montagem dos rotores. Esta montagem precisou ser feita desta forma devido a alta interferência de montagem do conjunto eixo rotor de 0,33 mm



AQUECIMENTO DO CUBO A 350°C RESFRIAMENTO DO EIXO COM N2 LIQ. MONTAGEM DO PRIMEIRO CONJUNTO



APÓS 24 HORAS DE RESFRIAMENTO GIRO DO EIXO E MONTAGEM DO SEGUNDO ROTOR

Foto: Montagem dos novos rotores na Oficina da ArcelorMittal Tubarão
Fonte: ArcelorMittal Tubarão

Verificações de empeno, batimento radial e axial de rotores e balanceamento de conjunto montagem e testes do compressor.



RUNOUT DO CONJUNTO MONTADO

CONTATO DA FACE DO ROTOR E PORCA



TORQUEAMENTO DA PORCA 160 KG.m BALANCEAMENTO DO CONJUNTO RESULTADO POR ROTOR, ZERO E 1.6 G. TOLERÂNCIA 2.5 G

Foto: Verificação de empeno e balanceamento do conjunto.
Fonte: ArcelorMittal Tubarão

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – Resultados

Projeto começou em Janeiro de 2013 com a especificação técnica do serviço e em Dezembro de 2013 o compressor estava disponível para operação com o novo conjunto de rotores do 3º e 4º estágios de compressão, com a confiabilidade de operação restabelecida.

O Custo dos rotores baixou de R\$ 2.200,00 no fornecimento original do sobressalentes, para R\$ 1.400,00 com o processo de engenharia reversa, gerando um ganho no projeto de R\$ 800.000,00;

O tempo baixou de 18 meses no fornecimento original do sobressalentes, para 06 meses com o processo de engenharia reversa, gerando um ganho na execução do projeto em 12 meses.

3.2 – Discussão

Existe risco para realizar engenharia reversa?

O que precisa ser feito para eliminar ocorrência de erros?

4 CONCLUSÃO

A engenharia reversa realizada de maneira bem planejadas com a parceria de empresa especializada é uma alternativa viável para reposição de sobressalentes de nossas turbo maquinas, com ganhos mensuráveis no custo e no tempo de fornecimento, com qualidade igual ou melhor a de um sobressalentes original e com a mesma garantia de performance.

Agradecimentos

Ao colega de serviço o eng. Adilson Campo Ferrarini que muito colaborou no processo de análise de custos e na validação das justificativas de compra dos rotores.

A IUM, divisão de engenharia da ArcelorMittal Tubarão. Em especial o especialista em Materiais o engenheiro Flavio Franco que participou do trabalho de avaliação das trincas e desgaste das pás dos rotores, da recomendação de alteração do material de fabricação dos rotores.

A Sulzer service, pela excelente parceria na condução do processo de engenharia reversa dos rotores do compressor de alimentação da fabrica de Oxigênio numero 1 da AMT.

REFERÊNCIAS

- 1 <http://appleoo.buy.opencroquet.org/pz5bdc97e-astm-6f7-din-1-2767-gb-45nicrmo16-jis-sncm2.html>
- 2 <http://www.villaresmetals.com.br/pt/Produtos/Acos-Inoxidaveis/Endureciveis-por-Precipitacao-PH/V630-17-4PH-UNS-S17400>