

COMPRESSORES PARAFUSO

PARTE 2

Controle de capacidade

O controle de capacidade em um compressor parafuso é utilizado para variar a quantidade de gás que entra na câmara. Isto é necessário para providenciar um controle preciso da temperatura de sucção, quando a carga térmica variar. Alguns métodos comuns de controle de capacidade são :

- Válvula de deslizamento controlando a câmara de descarga;
- Válvula de deslizamento controlando a câmara de descarga e a razão entre volumes;
- Válvula de deslizamento não controlando a câmara de descarga;
- Velocidade variável – Compressor Rotatune

Válvulas de deslizamento controlando a câmara de descarga são muito comuns porque podem fornecer uma ampla faixa de controle de capacidade, freqüentemente entre 10 e 100%.

Este tipo de válvula opera através da abertura de uma passagem de recirculação, na região de alta pressão, o que permite que uma porção do gás localizado entre os lóbulos seja direcionada novamente para a cavidade da sucção antes de iniciar-se a compressão (ver **Figura 13**). Este método oferece boa eficiência a cargas parciais por duas razões. Primeiro, o gás recirculado precisa somente superar uma ligeira queda de pressão antes de passar novamente à sucção desde que a cavidade de recirculação abra antes da compressão ter iniciado, evitando uma perda de trabalho na pré-compressão.

Segundo, como a válvula de deslizamento é móvel, a descarga radial é também móvel. Como o volume da sucção é diminuído, a abertura da câmara de descarga é também atrasada, mantendo assim aproximadamente a mesma razão entre volumes à carga parcial como à carga total para ótima eficiência à carga parcial.

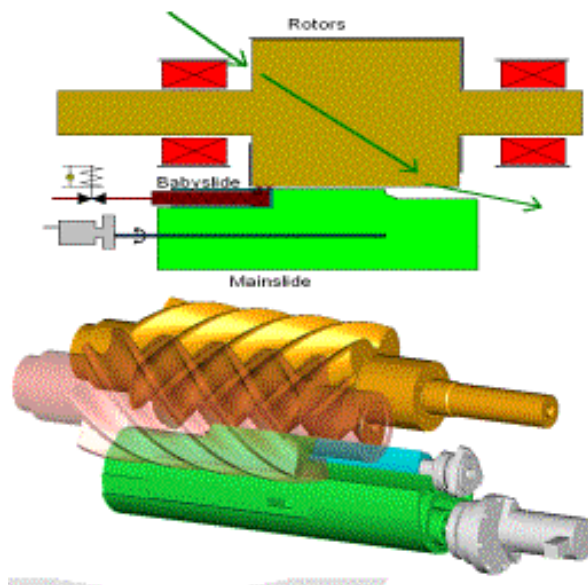


Figura 13: Válvula de deslizamento controlando a capacidade e a localização da câmara de descarga. Carga total com V_i mínimo

Um compressor projetado para controle de capacidade e variação da razão entre volumes é mostrado na **Figura 13**. Neste projeto um deslizamento móvel é ajustado do mesmo modo que uma válvula de deslizamento. A posição da câmara de descarga e da cavidade de recirculação podem ser ambas ajustadas. Isto permite um grande número de posições para ambas as válvulas, as quais permitem ajuste da capacidade e da razão entre volumes desde a carga máxima até aproximadamente 40% da mesma, abaixo da qual continua o controle de capacidade até 10% da carga máxima. Este arranjo melhora a eficiência à carga total e parcial.

Há muitas variedades de válvulas de deslizamento que não controlam a descarga, sendo a mais comum aquela que é ligada à cavidade do rotor por meio de ranhuras. Este tipo de descarga fornece uma boa redução de capacidade mas não a cargas parciais, pelo fato da razão entre volumes não permanecer constante durante a descarga.

Pode haver também algum vazamento através das cavidades no rotor, o que pode prejudicar a eficiência em qualquer faixa de operação. Estes dispositivos têm um custo mais baixo que as válvulas de deslizamento convencionais e são utilizados em pequenos compressores.

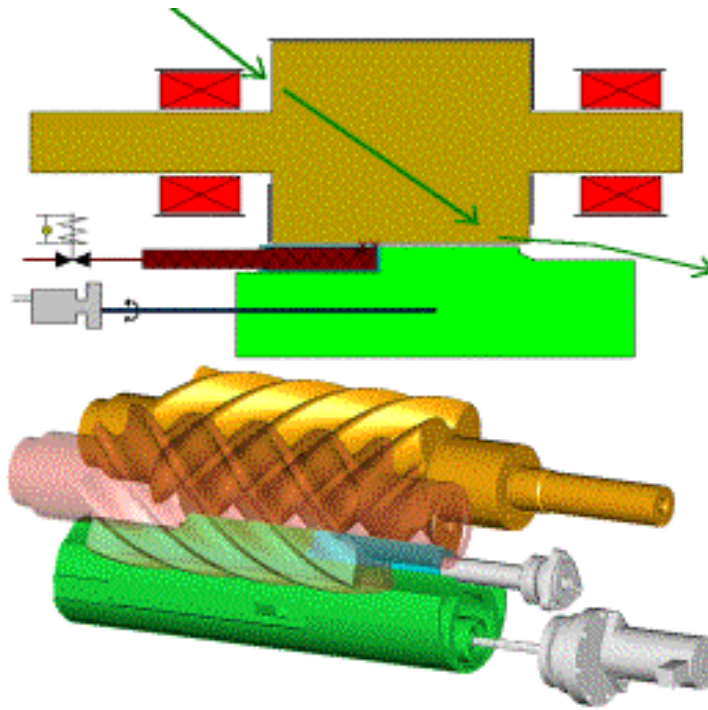


Figura 14 : Válvula de deslizamento controlando a localização da descarga e a razão entre volumes. Carga total com V_i máximo

Válvulas de encaixe são dispositivos que podem ser tanto axiais como radiais e que levantam para abrir uma passagem de recirculação dos espaços entre os lóbulos de volta para a sucção. Geralmente operam em faixas definidas de 75, 50 e 25 % da carga máxima para cada abertura do encaixe. Estes dispositivos não fornecem correção da razão entre volumes a cargas parciais como as primeiras válvulas de deslizamento; assim, a eficiência quando não se opera a carga máxima é comparável às válvulas de deslizamento que não regulam a localização da descarga. Também possuem um baixo custo e um controle simples.

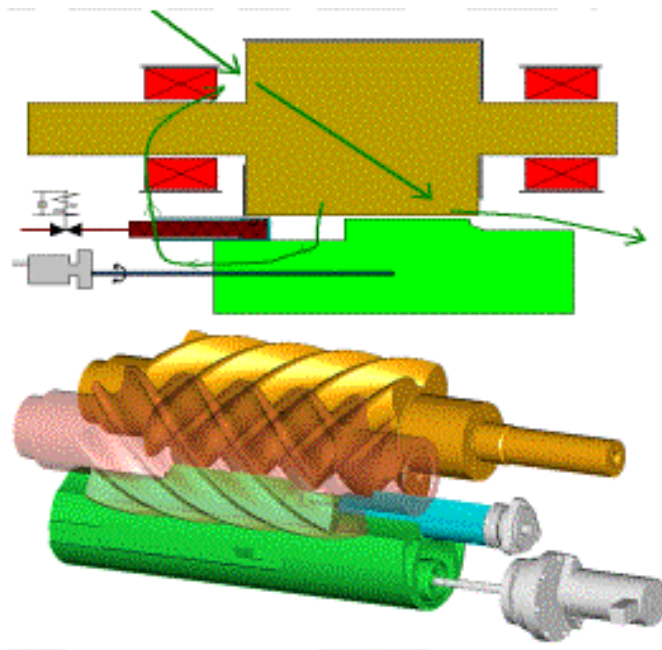


Figura 15 : Válvula de deslizamento controlando a localização da descarga e a razão entre volumes. Carga 60 % com Vi máximo

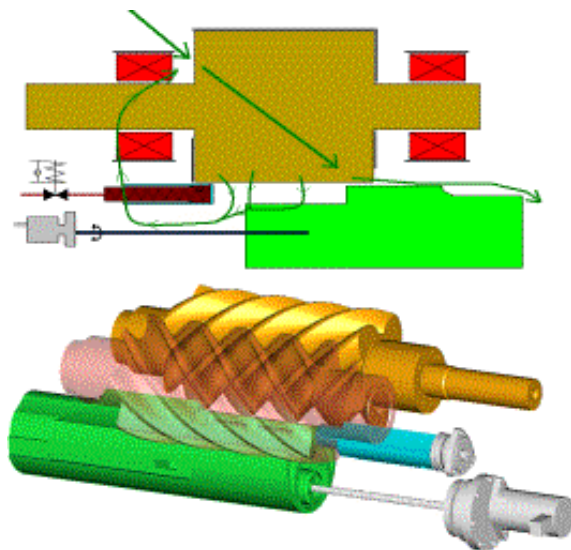


Figura 16 : Válvula de deslizamento controlando a localização da descarga e a razão entre volumes. Carga mínima com Vi máximo

Velocidade variável

A variação de velocidade é ocasionalmente utilizada como método de controle de capacidade nos compressores parafuso e pode ser efetuada com motores com rotação controlada, turbinas a vapor, ou acionamentos com frequência elétrica variável. A potência do compressor não decresce linearmente com a redução de velocidade mas cai bastante com a rotação dos rotores e com a razão de compressão. Em geral, a eficiência do compressor a cargas parciais será ligeiramente melhor a baixas razões de compressão e significativamente melhor a altas razões de compressão à velocidade reduzida, quando comparada ao controle feito pela válvula de deslizamento, mas isto não leva em conta as perdas no acionamento da redução de velocidade.

Uma típica variação da frequência causará uma perda em torno de 3% quando operando à carga total, além de uma perda adicional de 2,5% na eficiência do motor. Isto dá uma perda de aproximadamente 5,5% à carga total. Com alguns acionamentos, esta perda pode igualar-se àquela relativa à redução de velocidade, tornando-se uma perda significativa a baixas velocidades. Se um compressor for operar à carga parcial a uma alta razão de compressão durante muitas horas por ano, o custo do acionamento pode ser justificado. Caso opere próximo da carga total por longos períodos, ou opere fundamentalmente a baixas razões de compressão, é improvável que haja qualquer ganho com acionamento de velocidade variável, ou que o custo seja justificado em comparação com a válvula de deslizamento.

O perfil de carga e as condições de operação esperados numa aplicação devem ser considerados para se determinar a utilização ou não do controle de velocidade para cargas parciais.

O controle de velocidade variável com compressores parafuso não deve ser implementado sem antes consultar o fabricante do compressor. Há limites de velocidade abaixo dos quais pode haver falhas de lubrificação nos mancais. Grandes compressores terão menor velocidade mínima em comparação com os pequenos compressores. Muitos dos pequenos podem ser capazes de acoplarem um acionamento de velocidades acima da frequência padrão, mas os limites do separador, o tamanho do resfriador de óleo e outras limitações da unidade devem ser investigadas. É possível também encher um compressor com óleo e ele falhar se a velocidade é reduzida abaixo de um limite aceitável com o compressor sem carga. Muitas destas limitações ainda não foram estudadas mas deverão ser analisadas num futuro próximo.

Sistemas de óleo : separação e resfriamento

Como dito anteriormente, a injeção de óleo cumpre muitas funções úteis no compressor parafuso. Entretanto, se este óleo não for desejável em outras partes do sistema de refrigeração, será preciso a utilização de um separador de óleo. A mistura do gás de descarga e óleo que deixa o compressor é dirigida ao separador de óleo onde há uma mudança de direção e uma grande redução na velocidade. As partículas de óleo maiores são encaminhadas para o reservatório por gravidade,

enquanto que as partículas menores e a fumaça são carregados para os filtros de coalescência, onde se chocam com as fibras do filtro e coalescem com as gotículas maiores, as quais são recolhidas no reservatório e retornam para a região de baixa pressão do compressor. Além de remover o óleo da linha de gás, o separador também permite que qualquer gotícula de refrigerante presente no tanque principal absorva calor e vaporize, ou borbulhe na superfície do óleo, fornecendo ao óleo a pureza necessária para a reinjeção no compressor.

Já que a maioria do calor da compressão é transferido para o óleo durante a compressão, esta energia deve ser removida por um sistema de refrigeração do óleo. Os três sistemas mais comuns são resfriamento à água, por termosifão ou injeção de líquido. Mesmo que o resfriamento a ar seja possível, este não é tão utilizado como os três sistemas acima que serão descritos a seguir.

Resfriamento a água

Referindo-se a **Figura 12**, o óleo quente deixa o separador passando através de um filtro na bomba de óleo. Este óleo é bombeado através de um trocador de calor tipo casco e tubo ou tipo placa, onde o calor é rejeitado numa corrente de água ou glicol. O óleo resfriado é então filtrado e retorna ao compressor para a injeção. A primeira desvantagem deste sistema envolve o custo inicial para a manutenção do sistema de água ou glicol, e o risco da ruptura dos tubos ou encaixe se as condições da água não forem apropriadas. É preferível deixar o fluxo de água numa razão constante, e utilizar uma válvula de mistura reguladora de temperatura no lado que contém o óleo para misturar óleo quente e frio para se obter a temperatura desejada de injeção. Isto minimizará a formação de incrustações nos tubos, mantendo a velocidade da água num valor mínimo aceitável. O uso de glicol elimina o risco de incrustações.

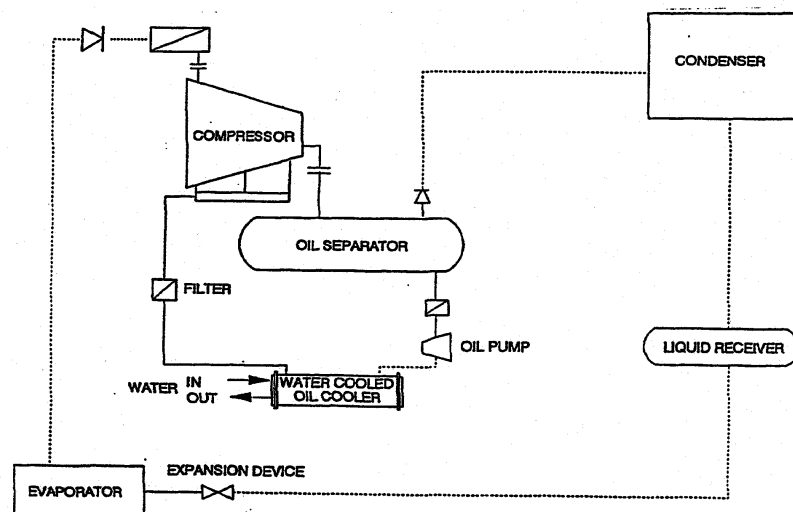


Figura 12 : Compressor parafuso com resfriamento do óleo à água.

Resfriamento por termosifão

Atualmente, o termosifão é um tipo comum de resfriamento de óleo em instalações industriais. Um exemplo é mostrado na **Figura 13**. O sistema termosifão é semelhante ao sistema à água. A diferença é que a água é substituída por refrigerante em ebulição no tubo de óleo no trocador de calor. O sistema termosifão é basicamente um evaporador inundado, alimentado por gravidade a partir de um tanque de refrigerante líquido num receptor termosifão, colocado acima do nível do trocador de calor.

Como o óleo quente entra no lado do casco do trocador, o refrigerante evapora no tubo, com as bolhas elevando-se numa linha de retorno de volta ao termosifão. O vapor gerado neste processo é direcionado para o condensador onde libera calor e retorna para o tanque de líquido.

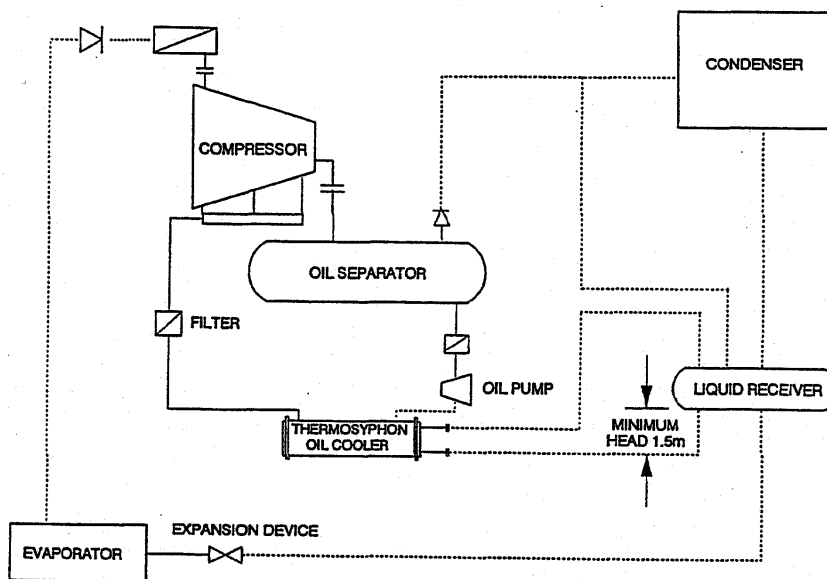


Figura 13 : Resfriamento por termosifão

Assim, o resfriamento por termosifão é um evaporador inundado por gravidade, com a temperatura de evaporação controlada pela pressão do condensador.

Este sistema é muito utilizado porque praticamente não requer manutenção e não afeta a performance do compressor. A instalação possui um baixo custo, e a tubulação pode ser ocasionalmente modificada, particularmente em salas com dimensões reduzidas (teto baixo), ou casa de máquinas antiga onde a tubulação precisa ser modificada.

Resfriamento por injeção de líquido

A injeção de líquido resfria o óleo pela injeção direta de refrigerante na região de baixa pressão na câmara de compressão, interrompendo a compressão, como visto na **Figura 14**. O óleo e a descarga de gás são controlados pela temperatura mantida por uma válvula de expansão termostática. Esta válvula controla o fluxo de injeção de líquido para manter a temperatura de um termômetro de bulbo instalado na linha de descarga do compressor.

Parte do líquido injetado expande através da válvula nos espaços entre os lóbulos dos rotores, solicitando uma potência adicional para compressão. Todo líquido remanescente mistura-se com o óleo e é transportado para a linha de descarga junto com o gás. O líquido injetado permanece no compressor durante aproximadamente 0,01 s. Como a transferência de calor precisa de tempo, a maioria do resfriamento acontece na linha de descarga e no separador de óleo, onde o líquido tem tempo de absorver calor e evaporar.

Pode haver vazamento da mistura óleo-líquido na sucção. O vazamento de óleo tem pouco efeito, porém o líquido irá expandir na sucção como vapor, com um grande acréscimo no volume específico, reduzindo a quantidade de gás que pode ser succionado. Isto causa uma redução na capacidade com injeção de líquido, com influência em altas razões de compressão.

Baixo custo inicial e pouca manutenção fazem da injeção de líquido muito utilizada há vários anos. Entretanto, as perdas de potência e capacidade fazem-na pouco atrativa para a maioria das aplicações com alto calor de compressão. Não é recomendada para sistemas com condições mesmo temporárias de alta sucção e baixa pressão, onde diferenças inadequadas através da válvula de expansão causam alimentação incerta de líquido.

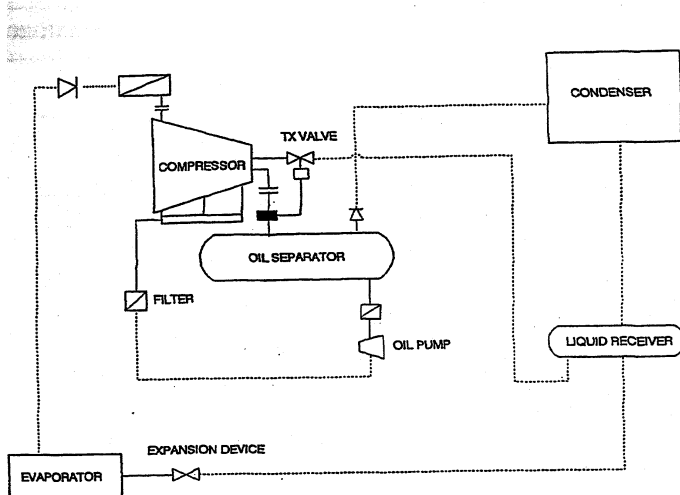


Figura 13 : Resfriamento de óleo por injeção de líquido.

Economizadores e carga intermediária

Como a pressão num compressor parafuso é gradualmente aumentada ao longo do comprimento do rotor, é possível introduzir aberturas na cavidade do rotor a qualquer pressão entre a sucção e a descarga. Um *economizador* é uma abertura localizada numa razão de volume fixa em relação à sucção e é utilizada como uma porta de sucção secundária. Uma quantidade adicional de gás pode ser dirigida para o espaço entre os lóbulos enquanto esta entrada está aberta, aumentando a pressão entre os lóbulos, com o fluxo combinado de gás sendo comprimido.

No caso de carga intermediária, o gás adicional geralmente vem de um segundo evaporador. A pressão do refrigerante no evaporador deve ser mais alta que no economizador para forçar o gás para dentro do compressor.

Um economizador é um caso especial de carga intermediária, onde a porção de líquido vinda do condensador é evaporada, com o gás de *flash* indo para o economizador de tal forma a subresfriar o líquido remanescente no condensador. Isto permite um aumento na capacidade porque o líquido que vai para o evaporador principal é mais frio, e também um aumento na eficiência global, em virtude das vantagens termodinâmicas do subresfriamento e do fato da compressão do vapor no economizador ser geralmente muito eficiente.

Quando o compressor está girando, há certas fontes de ineficiência que devem ser sempre superadas : atrito nos mancais e nas paredes, rompimento do filme de óleo, vazamento de uma certa quantidade de óleo nos lóbulos, e atrito na vedação do eixo. A adição do economizador não aumenta nenhuma dessas perdas, e assim a compressão é quase ideal.

Requisitos para instalação

A seguir, algumas diretrizes que poderão amenizar problemas na operação do compressor. Porém, é sempre importante seguir as recomendações do fabricante, mas as seguintes são freqüentes em instalações típicas :

- Instale o compressor numa fundação apropriada. Nivele a unidade para eliminar fadiga e transporte junto ao chão para assegurar pleno contato com o mesmo. Devem ser utilizados fixadores de boa qualidade para anexar a unidade na fundação.
- Use ganchos na linha de sucção com 0,6 m de elevação para evitar adicionar tubos na casa de máquinas. A linha de descarga também deve ser apoiada no caso de tubulações longas.
- Durante a instalação, mantenha a sujeira fora do sistema tanto quanto possível. Uma instalação suja causa problemas com válvulas de encaixe, e potencialmente danifica o compressor. Os compressores parafuso são muito resistentes, mas a inclusão de sujeira afetará a performance e a longevidade.
- Utilize somente a amônia como refrigerante. Use a assistência técnica apropriada para evitar a contaminação do sistema com água. Um sistema corretamente utilizado não deve possuir mais que 80 ppm de água. Bons sistemas têm 25-35 ppm.

- Utilize o óleo correto para a aplicação. Nem todos os óleos são equivalentes. Muitas instalações com temperaturas de sucção baixas ($< -45^{\circ}\text{C}$) devem utilizar um óleo específico. Não misture diferentes óleos no mesmo compressor, e esteja seguro de armazenar óleos de máquina e hidráulicos longe do compressor parafuso. Aditivos utilizados em lubrificantes comuns não são compatíveis com aqueles utilizados em sistemas de refrigeração.
- Um modelo apropriado de acumuladores na sucção é vital para livrar de problemas a instalação do compressor. Enquanto compressores parafuso podem aceitar somente alguma quantidade de líquido sem danificar o sistema hidráulico, é possível causar falhas freqüentes em sistemas com amônia operando a baixas temperaturas com contínuo retorno de amônia líquida. Acumuladores apropriados que evitam sobrecarga de líquido podem eliminar problemas.

Manutenção

As recomendações do fabricante quanto à manutenção variam de produto para produto. Entretanto, alguns comentários gerais podem ser feitos para agrupar mais aplicações.

A análise do óleo é importante para qualquer programa de manutenção em compressores. É muito importante analisar a quantidade de água; além disso, a viscosidade muda com o tempo, o que indicaria diluição do óleo. Água em excesso podem afetar seriamente o compressor se permitido um retorno da mesma no sistema. A análise do metal pode detectar alguns problemas, mas usualmente os indica mais tarde, no que se refere a falhas mecânicas.

A análise de vibrações é o melhor método de monitorar a condição dos mancais. É muito útil com mancais de deslizamento, fornecendo uma indicação da deterioração do mancal quando ela se inicia. Um bom programa de análise de vibrações ou uma monitoração direta elaborada no projeto pode eliminar a necessidade de desmontagens de rotina e pode minimizar de maneira eficiente o risco de uma falha irrecurável no compressor.

Correção de problemas

Apesar dos esforços contínuos, os compressores muitas vezes têm problemas. É o propósito de uma boa lista de problemas definir a causa dos mesmos sem precisar da substituição de componentes caros ou errados.

Uma das mais úteis lista de problemas é uma cuidadosa análise da temperatura de descarga. Se for muito alta ou muito baixa, as condições de operação devem ser investigadas, pois podem indicar uma grande distorção. Um processo lógico de correção deve ser seguido para determinar porque a temperatura de descarga está fora dos limites.

Baixa temperatura de descarga

- A temperatura de descarga pode estar muito baixa porque o refrigerante líquido está sendo carregado para a linha de sucção ou economizador. A formação

excessiva de espuma no separador ou o aparecimento de gelo na sucção também pode ser uma causa deste problema.

- Pode indicar a condensação de refrigerante na linha de descarga durante períodos em que o compressor estiver desligado, indo de volta para o separador de óleo e alimentando o compressor com excesso de líquido até a instalação entrar em regime permanente.
- Também pode indicar fluxo de óleo acima do valor de projeto. A injeção de óleo está ajustada apropriadamente, ou poder-se-ia regular o pistão aumentando o fluxo de óleo ?

Alta temperatura de descarga

- Alta temperatura de descarga pode ser causada pelo superaquecimento acima do valor de projeto na sucção ou economizador.
- Fluxo de óleo restrito no compressor provocará altas temperaturas de descarga. Verifique a válvula de injeção principal, orifícios de óleo ou o bloqueio do filtro.
- A razão entre volumes e a válvula de deslizamento estão calibradas para operarem corretamente ? Se o compressor estiver operando numa razão entre volumes incorreta, uma potência excessiva será consumida na compressão, o que sempre acarreta um aumento na temperatura de descarga.
- O compressor está nos primeiros estágios de falha ou perdendo a posição axial devido a golpes do mancal ? Qualquer condição que cause uma mudança na posição do rotor provocará um vazamento de lóbulo a lóbulo e altas temperaturas de descarga. Se isto for suspeito, a análise de vibrações é a melhor maneira de avaliar a condição do compressor. Se a análise de vibrações não for possível, a inspeção de trincas pode ser usada se todas as outras possibilidades tiverem sido investigadas.
- O resfriador de óleo está operando corretamente ? É FÁCIL DESCONSIDERAR ISTO COMO POSSIBILIDADE COM UM SOFTWARE PARA COMPRESSORES. Se o valor da temperatura de descarga numa elevada temperatura do óleo é a prevista em projeto, é provável que o compressor esteja livre de problemas, mas o resfriador de óleo deve ser investigado.

O futuro dos compressores parafuso em refrigeração

As condições na indústria estão se modificando e os compressores parafuso também estão mudando para satisfazer as demandas dos clientes. Algumas áreas oportunas são listadas abaixo.

Modernas máquinas-ferramentas e equipamentos de inspeção automatizados tornam possível tolerâncias estreitas na fabricação de componentes. Isto melhora o desempenho do compressor.

A grande utilização da eletrônica está na economia de energia, simplificação da manutenção e na antecipação de problemas antes que eles ocorram. Isso reduz o consumo de energia, custos operacionais e custos de manutenção. Os computadores pessoais mudaram nossas vidas e estão também mudando a sala de máquinas. A indústria de refrigeração está significativamente atrás da indústria automotiva no que diz respeito ao uso da eletrônica, mas isto deve ser logo superado.



Os requisitos para a regulação e os projetos acerca dos vazamentos estão em novos níveis. Novos projetos de vedação do eixo, eliminação de tubos roscados, pequenas cargas e maior número de construções soldadas são áreas que estão avançando rapidamente.

Baixos níveis de ruído na sala de máquinas estão se tornando importantes. Compressores silenciosos estão sendo especificados para um grande número de aplicações.

É certo que estas mudanças acontecerão. O compressor parafuso tem provado que é um componente fundamental em sistemas de refrigeração pela sua eficiência, segurança e flexibilidade. A inovação contínua no projeto melhorará seu desempenho no futuro.

*Elaborado por Joseph Pillis da YORK
REFRIGERATION - SCREW COMPRESSORS
BASICS.*

*Tradução e adaptação da Engenharia de
Aplicação da Divisão de Contratos
YORK Refrigeration – Joinville, SC, Brasil.*