Requisitos para projeto de Permutadores de calor de alta pressão
Supplementary Requirements for High Pressure Heat exchanger

1 Permutador de calor para alta pressão e fechamento de carretel tipo "breech lock closure"

1.1 Documentação

Normas Petrobras de projeto e fabricação aplicáveis: N-253, N-266, N-268 e N-2301, e todas as demais chamadas nos textos destas Normas.
As prescrições da NR-13 também devem ser atendidas.

1.2 Documentos mínimos da fabricação.

1.2.1. Desenhos de fabricação certificados:
- conjunto do casco, carretéis e bocais;
- selas suportes;
- feixe tubular;
- tubos dobrados, chicanas, chapas suportes;
- flanges principais;
- espelho;
- juntas;
- detalhes da barras de selagem, das barras de deslizamento, dos trilhos de deslizamento e do “Teflon sliding plates";
- anéis de teste;
- "jack screw";
- olhais de içamento.

O sistema de fechamento especial do carretel deve ser detalhado com os componentes.

1.2.2. Cálculos estruturais, incluindo a verificação para as condições de transporte.
1.2.3. Cálculo do centro de gravidade e dos olhais de içamento.
1.2.4. Análise de tensões para as cargas localizadas;
1.2.5. Esforços admissíveis nos bocais.
1.2.6. Procedimentos qualificados para soldagem e ensaios não destrutivos.
1.2.7. Procedimento qualificado para o TTAT, reservando ao menos um alívio térmico para a manutenção do Proprietário.
1.2.8. Procedimento de apassivação dos internos fabricados com "clad", “weld overlays” e tubos em aço inoxidável.
1.2.9. Procedimento do Teste de Pressão Hidrostático - TH.
1.2.10. Procedimento para o Teste de Vazamento.
1.2.11. Certificados de qualidade dos materiais empregados, incluindo os consumíveis, com os registros de composição química, testes das propriedades mecânicas, "step cooling test", testes de impacto, testes de "disbonding" (a serem realizados em autoclave).
1.2.12. Certificados com os registros das inspeções com ENDs.
1.2.13. Certificados de qualificação dos procedimentos de soldagem e dos soldadores.
1.2.14. Certificados de qualificação dos ENDs e dos inspetores de ENDs.
1.2.15. Certificado do TTAT, com os registros da curva do tratamento.
1.2.16. Certificado do Teste Hidrostático - TH.
1.2.17. Plano de inspeção e soldagem.
1.2.18. Mapa das soldas com os respectivos ENDs.
1.2.19. Instruções para transporte e armazenagem, incluindo as especificações para inertização e hibernação.
1.2.20. Instruções detalhadas para o procedimento de abertura / remoção e instalação do feixe tubular / fechamento do permutador.
1.2.21. Manual com as instruções para operação, inspeção, manutenção e reparação do permutador.
1.2.22. Os documentos devem conter as informações necessárias à total rastreabilidade da fabricação e montagem.
1.2.23. Apresentar o plano de fabricação e inspeção, previamente, para comentários do Proprietário e inclusão dos "holding points" que devem obrigatoriamente ser testemunhados pelo Proprietário.

1.3 Escopo de fornecimento

Adicionalmente ao fornecimento dos equipamentos, fabricados e montados totalmente na fábrica, deve ser previsto.

1.3.1 O escopo dos serviços contratados de terceiros deve ser definido em comum acordo com o Proprietário.

1.3.2. Prever em contrato o treinamento na fábrica, do pessoal do Proprietário, nas operações de abertura / remoção e instalação do feixe tubular / fechamento do permutador, seguindo passo a passo o procedimento preparado.

1.3.3. Fornecimento das ferramentas e dispositivos para:

- execução das operações para abertura / fechamento do anel roscado do carretel;
- abertura / remoção / instalação do feixe tubular dos permutadores de feixe removível;
- abertura / remoção / instalação do casco dos permutadores de casco removível.

1.3.4. Fornecer os valores de aperto dos parafusos estojos e "cap screws" e a máquina tensionadora. As extremidades dos estojos devem ser adequadas ao aperto com máquina tensionadora.

1.3.5. O treinamento do pessoal do Proprietário para a execução das operações de abertura / remoção / instalação do feixe tubular:

- abertura / remoção / instalação do casco
- abertura / fechamento do anel roscado

deve ser realizado com o permutador na posição de operação.

1.3.6. Deve ser realizado um estudo técnico-econômico para definir o arranjo desses permutadores quanto a instalá-los em uma mesma elevação ou instalá-los sobrepostos ou em plataformas elevadas.

Prever arruamento de manutenção à frente do carretel, dos permutadores de feixe removível e outro à frente do boleado dos permutadores de casco removível.

1.3.7. Instalar barras de deslizamento do feixe tubular nos seguintes casos: casco com TTAT, casco com "clad", casco com "overlay" ou feixe tubular pesando acima de 3 toneladas.

1.3.8. A região de dobramento dos tubos em "U" deve sofrer TTAT.

1.3.9. Prever na requisição de compra a obrigatoriedade do proponente apresentar uma lista de fornecimentos desses permutadores com o nome e endereço do proprietário, pessoa de contato, ano de fabricação e licenciador da tecnologia.

1.3.10. Os permutadores devem ser fornecidos inertizados e completamente estanques na fábrica e mantidos assim durante o transporte e hibernação no local da instalação.

1.3.11. Prever colocação de sílica gel no interior do permutador, após o Teste Hidrostático e mantê-la durante o tempo de transporte e hibernação.

1.3.12. Recortar na fábrica os cantos vivos nas chicanas, chapas suportes, barras de deslizamento, chapas de partição de fluxos, dando um acabamento adoçado.

1.3.13. Prever a fabricação de um gabarito das condições do casco e carretel, após soldados, contendo as folgas previstas de montagem, para verificação prévia antes da instalação do feixe tubular.

A folga mínima de montagem entre o espelho / feixe tubular e o casco / carretel deve ser 6 mm, no diâmetro.

Atenção especial deve ser dada ao dimensional do carretel / casco, nas regiões de soldagem dos bocais. Este gabarito deve ser fornecido junto com o permutador.

Caso haja necessidade de usinagem para corrigir interferências ou ajuste de folgas internas, ela deve ser feita no casco / carretel, nunca no espelho.

1.3.14. O ressalto no casco para a instalação da junta de vedação, entre o espelho e o casco, deve ser convenientemente protegido do feixe, para evitar danos na retirada e montagem do feixe tubular.

1.3.15. A junta de vedação entre espelho e o casco deve ser confinada e do tipo espirotálica ou "Camprofile" de aço inoxidável AISI 321 e grafite flexível.

O acabamento da sede deve ser 63 RMS, no mínimo.

1.3.16. Prever a presença do fabricante no canteiro de obras para a assistência técnica durante a colocação dos permutadores no local e realização da inspeção de segurança inicial, conforme NR-13.

1.3.17. Prever juntas de vedação sobressalentes para a troca, após a execução do Teste Hidrostático no local da instalação.

1.3.18. Apresentar o procedimento de aperto dos parafusos, para as condições de operação, Teste Hidrostático e reaperto dos parafusos durante a operação.
1.3.19. Fornecer ferramenta hidráulica para a aplicação dos torques nos estojos parafusos.
1.3.20. O anel flange de fixação do espelho deve ser suficientemente rígido, para não se deformar (empenar) durante o Teste Hidrostático.
Nesta situação, a suportação do anel é precária, pois com o carretel aberto, ele fica preso somente pelo anel tripartido ("split ring") e tende a "pivotear" se deformando.
Durante o Teste Hidrostático deve ser verificado a planicidade do anel flange interno com relógio comparador.
1.3.21. Para os sobressalentes de 2 anos de operação prever para cada permutador:
- Juntas de vedação principais (2 conjuntos);
- 10% dos estojos e "cap screws";
- Anel tripartido (1 conjunto);
- Diafragma (1 conjunto);
- Retentor da junta do carretel (1 conjunto).
1.3.22. O espelho deve sofrer TTAT após a soldagem de resistência de fixação dos tubos.
1.3.23. As barras de deslizamento do feixe tubular devem ser locadas de modo a impedir que as chicanas e chapas suportes toquem o fundo do carretel e do casco.
Adotar uma cota mínima de afastamento de 3 a 4 mm.
1.3.24. O espelho deve ter 2 “build-ups” de solda em igual alinhamento das barras de deslizamento.
1.3.25. Durante as operações de instalação e remoção do feixe tubular, a seção do carretel com roscas deve ser protegida por uma camisa metálica.
1.3.26. A qualificação das chapas / forjados internos e das respectivas soldas, para as horas requeridas de TTAT, deve ser realizada com os componentes revestidos ("clad" ou "overlay") para avaliar também possível sensitização ou sigmatização, corrosão intergranular e politiônica.
1.3.27. Ultrassom conforme Código ASME SA-578 S1 para as chapas acima de 2" de espessura e ASME SA-578 S7 para todas as chapas cladeadas.
1.3.28. Ultrassom conforme Código ASME SA-388 para os forjados acima de 100 kgf.
1.3.29. A temperatura mínima do teste hidrostático deve ser definida conforme ASME UCS 66.
1.3.30. Prever desenho de conjunto do equipamento com o mapeamento das chapas e forjados, para futura rastreabilidade, contendo:
- número do certificado do material;
- horas de TTAT consumidas na fabricação, incluindo os tratamentos parciais;
- não conformidades.
1.3.31. Prever quantidade extra de material de chapas e forjados, contemplando as amostras para os testes de “step-cooling” e “disbonding”.
1.3.32. Os testes de qualificação devem ser realizados por corrida das chapas e dos forjados.
1.3.33. Os testes de produção devem ser feitos por solda e devem ser iguais aos testes da qualificação.
1.3.34. Prever o fornecimento de pedaços de amostras das chapas originais (400 mm x 400 mm), nas espessuras utilizadas com trechos em "weld overlays", para entrega ao Proprietário junto com o equipamento.
1.3.35. As roscas do anel de fechamento do carretel e do próprio carretel devem ser do tipo “rolado”.
1.3.36. Os permutadores com revestimento interno de aço inoxidável devem ter limpeza interna por decapagem química depois de fabricados.
1.3.37. Analisar a necessidade de bloqueio em cada permutador, devido à conveniência futura de isolamento para amostragem dos produtos ou para Teste Hidrostático individual, para tender a:
- em caso de vazamento em um dos permutadores, isolá-lo, sem necessidade de parar o sistema;
- em caso de Teste Hidrostático de um permutador, isolá-lo, sem precisar testar o sistema.
1.3.38. O depósito de “revestimento de solda” deve ser em duas camadas:
- 1ª camada: 309 L SS;
- 2ª camada: 347 SS.

1.3.39. Não há necessidade de depositar a 2ª camada nos locais de concentração de tensões; somente após o tratamento térmico de alívio de tensões.
1.3.40. O material base em aço liga 1 ¼ Cr - ½ Mo deve ter fator J < 100 com “J target” igual 80.
1.3.41. O exame com ultrassom deve ter registro gravado em meio magnético entregue junto com o permutador.
1.3.42. Os documentos de soldagem devem ser elaborados e apresentados conforme Norma Petrobras N-2301.
1.3.43. Os permutadores com o feixe tubular em aço inoxidável austenítico, devem ter as chicanas, tirantes espaçadores e porcas em aço inoxidável austenítico.
1.3.44. Evitar o uso de resfriadores a água para a corrente efluente dos reatores de HDT. Dar sempre preferência a resfriadores a ar.
1.3.45. Caso a utilização de resfriadores à água, para este serviço, seja imprescindível, considerar as recomendações abaixo:
- especificar, sempre que possível que a água de resfriamento passe pelo lado dos tubos.
- utilizar permutadores de feixe removível, do tipo convencional. Para viabilizar essa utilização, adotar onde necessário, a estratégia de divisão do fluxo total a ser resfriado.
1.3.46. Permutador casco-tubos tipo TEMA “F”, com alta pressão do lado dos tubos e baixa pressão do lado do casco, só deve ser utilizado caso a avaliação prévia feita pelo Proprietário, indique a não ocorrência do efeito banana (deformação por dilatação diferencial entre a parte superior e inferior do casco).
1.3.47. Para os permutadores de alta x baixa pressão, onde a baixa pressão encontra-se do lado do casco, deve-se projetar o flange do casco conforme Código ASME Seção VIII Divisão 1, reforçando-o de modo a considerar as tensões térmicas e garantir a rigidez adequada ao serviço.
1.3.48. Nos preaquecedores de carga a passagem do fluido contaminado com H_2S, deve ser pelo lado dos tubos. Esta medida evita a corrosão por sulfetação e por depósito externo aos tubos.

2 Permutadores de calor especiais verticais, tipo placa, similares aos fabricados pela PACKINOX, próprios para alta pressão.

2.1. A superfície de transferência de calor deve ser do tipo placas, com construção totalmente soldada. A construção com juntas não é permitida.
2.2. As placas dos permutadores de calor devem ser totalmente possíveis de esgotamento dos fluidos circulantes.
2.3. As placas devem ser do material ASME SA 240 TP 321 ou equivalente (placas e caixas coletoras fixas).
2.4. As placas devem ter padrão da corrugação que comprovadamente trabalhe como um misturador estático, quando em serviço de escoamento multifásico.
2.5. O projeto das placas deve ser tal que evite áreas de velocidade baixa do fluxo escoado.
2.6. O permutador de calor deve ser isolado termicamente.
O isolamento e os suportes de isolamento não precisam ser fornecidos pelo fabricante, que deve fornecer os grampos soldados no vaso de pressão para fixar os suportes do isolamento térmico.
2.7. O permutador de calor deve ser projetado para fácil manipulação no campo. Em particular, os olhais de suspensão e movimentação devem ser fornecidos.
2.8. Depois que o conjunto de placas for montado, as soldas acessíveis devem ser examinadas por meio de teste de líquido penetrante - PT.
2.9. O teste de vazamento das placas deve ser realizado. O vazamento entre o lado frio e o lado quente não deve exceder 0,001 % na condição de operação. O fornecedor do equipamento deve propor um método de estimativa do vazamento sob condições operacionais a partir dos resultados, sob condições de teste.
2.10. O trocador deve ser instalado verticalmente. O efluente do reator deve entrar por cima e fluir por baixo e a carga combinada deve entrar na parte inferior e fluir por cima.
2.11. O conjunto de transferência de calor deve ser instalado dentro de um vaso de pressão. O vaso deve ser pressurizado pela linha de compensação de Hidrogênio que “passa através dele”. O Hidrogênio de compensação deve passar através do vaso antes de misturar-se com a carga de alimentação.

2.12. A carga e o Hidrogênio de compensação devem ser misturados e combinados na entrada de alimentação.

2.13. A entrada da carga combinada e a entrada do efluente do reator devem ter em cada uma um cone distribuidor especial com tela de malha fina.
As caixas coletoras devem ter defletores internos.
O cone distribuidor e os defletores devem ser comprovadamente capazes de distribuir a carga combinada e o efluente do reator entre as aberturas internas do conjunto de placas.
As telas finas devem ser construídas para atuar como um filtro secundário. Abertura da tela = 500 mícron.

2.14. As caixas coletoras do conjunto devem ter 8 acessos totais para inspeção. As tampas devem ser flangeadas do tipo flange de pescoço.

2.15. A metalurgia do vaso de pressão será selecionada para o serviço com Hidrogênio que segue as curvas de “NELSON”.
A concentração do H_2S no Hidrogênio de reciclagem indica ou não a necessidade de cladeamento para o vaso de pressão.

2.16. O conjunto de placas deve ser reforçado por chapas e parafusos projetados para permitir a pressão de 2 bar, isto é, a pressão dentro do conjunto pode ser até 2 bar superior a pressão fora deste.

2.17. O vaso de pressão deve ser fornecido com um respiro (2 polegadas min) e com um dreno (3 polegadas min).
Os quatro bocais de processo principais devem ter bocais laterais de 2 polegadas para uso futuro durante a limpeza química.
Além disso, o vaso deve ter duas bocas de visita, de no mínimo 24" de diâmetro, uma próximo da extremidade superior e a outra próxima da extremidade fria. As bocas de visita devem ser dimensionadas e posicionadas para permitir recolocação no local do fole de expansão interno.