

Copyright 2014, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2014, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2014.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do autor.

Revestimento de equipamentos de processo operando em alta temperatura. Cases comprovam bom desempenho

Diego G. Hita^a

Abstract

With the continuous development of high-temperature processes in industry, it was necessary the development of polymer coatings to prevent corrosion in equipment. Systems of cold curing polymeric coating to protect equipment subject to corrosion have been in use since the 50's and were based on relatively simple technologies involving epoxy resins. These were subsequently enhanced to include the use of new technologies, to broaden the scope of applications and increase the chemical and erosion/abrasion resistance. In the last decade, has increased the use of epoxy novolac resins for coatings of industrial process equipment, in systems working at temperatures up to 180 °C. This paper discusses recent developments extending the capacity of the cold curing polymers technology to withstand high temperatures associated with process equipment. It also discusses some of the limitations of such systems, as their long cure time and, in the case of heavier formulations, their difficulty of application. Also discusses the solutions offered to the market. Historical cases that confirm the expectations of good performance will be used to support the work.

Keywords: coating.

Resumo

Com o contínuo desenvolvimento de processos a alta temperatura na indústria, foi necessário o desenvolvimento de revestimentos poliméricos para prevenir a corrosão em equipamentos. Sistemas de revestimento poliméricos de cura a frio para proteger equipamentos sujeitos à corrosão têm estado em uso desde os anos 50 e foram baseados em tecnologias relativamente simples envolvendo resinas epóxis. Estas foram subsequentemente aprimoradas para incluir o uso de novas tecnologias, para alargar o escopo de aplicações e aumentar a resistência química e à erosão. Na última década, cresceu o uso de resinas Epoxi Novolac para revestimentos de equipamentos de processo industriais em sistemas que trabalham com temperaturas de até 180 °C. Este trabalho discute os recentes desenvolvimentos que estendem a capacidade da tecnologia de polímeros de cura a frio para suportar alta temperatura associada com equipamentos de processo. Discute-se também algumas limitações destes sistemas, como seu tempo de cura demorado e, no caso das formulações mais pesadas, sua dificuldade de aplicação. Casos históricos que confirmam as expectativas de bom desempenho serão usados para dar suporte ao trabalho.

Palavras-chaves: Revestimento

^a MSC-Eng Químico - Hita Comércio e Serviços Ltda

Introdução

Antigamente, o desempenho de sistemas de revestimento poliméricos de cura a frio para uso em processos petroquímicos e de refino era limitado pela sua baixa resistência à temperatura e pressão em condições de imersão contínua. Por outro lado, materiais alternativos envolvendo ligas metálicas especiais, como Super Duplex, e revestimentos metálicos restringem a capacidade dos engenheiros de projeto de oferecer soluções econômicas efetivas para proteção contra erosão-corrosão a temperaturas e pressões elevadas.

Sistemas de revestimento poliméricos de cura a frio para proteger equipamentos sujeitos à corrosão têm estado em uso desde os anos 50 e foram baseados em tecnologias relativamente simples envolvendo poliésteres insaturados ou resinas epóxis. Estas foram aprimoradas incluindo o uso de novas tecnologias, para aumentar a resistência química e à erosão. Na última década, cresceu o uso de resinas Epoxi Novolac para revestimentos de equipamentos de processo industriais em sistemas que trabalham com temperaturas elevadas, acentuadamente na indústria da extração de petróleo. Para estas, foram desenvolvidos revestimentos poliméricos para oferecer resistência à corrosão e à erosão a temperaturas de até 150-180 °C em imersão contínua, combinada com resistência às forças destrutivas de descompressões explosivas desde pressões acima de 90 kgf/cm².

O trabalho discute o acerto neste aumento de uso das resinas Epóxi Novolac para proteger equipamentos operando em condições de serviço agressivas, aponta algumas limitações importantes no processo de aplicação e do extenso tempo de cura, e discute desenvolvimentos recentes que enfrentam estas limitações. Testes independentes e casos históricos são usados para dar suporte ao trabalho.

Resultados e discussão

No CONBRASCORR realizado em Salvador/Bahia em 2002, COTEQ 059, foi apresentada uma compilação de informações sobre os materiais básicos de construção usados para equipamentos de processo na indústria e suas limitações (aço-carbono, aço-carbono com revestimento metálico, aço inoxidável e aço inoxidável duplex), motivo pelo qual não se faz necessário aqui repetir este levantamento.

Os engenheiros de projeto, quando estão selecionando materiais de construção, estão sempre confrontando as vantagens de um dado material baseados em “predições” das condições de operação, e isto ao menor preço aceitável. Em muitos casos a limitação de custo imposta durante a construção implica em engenheiros de manutenção tendo que resolver os problemas resultantes com maiores dificuldades espaciais e sofrendo pressões de recursos limitados, dificuldades de acesso e restrições de tempo para o reparo.

O uso de revestimentos protetivos de cura a frio se tornou uma alternativa para aumentar a resistência à corrosão dos materiais base como o aço carbono, entretanto, as limitações inerentes destes materiais restringiam seu uso a aplicações de menor agressividade.

A temperatura e pressão associada aos processos industriais são superiores a capacidade da maioria dos revestimentos e isto resulta quase sempre em falha dos sistemas e necessidade de

parada e “re-aplicação” do revestimento. Estas limitações são sempre consideradas na fase de projeto e frequentemente os revestimentos são desconsiderados como meio de proteção.

No trabalho Coteq 059 também se discutiram as características e limitações dos revestimentos tradicionais, a saber *poliésteres insaturados com assentamento térmico, fibra de vidro a base de poliésteres insaturados e vinil éster, sistemas de poliuretanos com assentamento térmico, Sistemas de resinas epoxis tradicionais, sistemas de resinas epoxis com solvente/água e sistemas de resinas epóxis livres de solventes.*

Depois de consideráveis investimentos em pesquisa e desenvolvimento e de ensaios em laboratórios, os sistemas à base de epóxi novolac foram disponibilizados ao mercado, criando grandes expectativas. No desenvolvimento destes produtos destacam-se quatro fases.

Fase 1

Terminada em 1994, utilizando tecnologia com fenol epóxi novolac modificado, para desenvolver produtos que resistem a temperatura de até 120 °C em imersão em soluções aquosas e de hidrocarbonetos, mesmo com acidez acentuada.

Experiência com revestimento epóxi novolac modificado

Disponível desde 1994, este sistema tem comprovado ser uma alternativa viável aos materiais tradicionais de construção e o seu uso tem mostrado que o sistema eficiente para aplicações em equipamentos de processo na indústria de extração e refino de petróleo.

Caso Histórico no Brasil - 1

Equipamento: dois tratadores eletrostáticos em plataforma da Bacia de Campos (Óleo/Gás)

Material de construção: aço-carbono

Temperatura Operacional: 90 °C; Pressão 10 kgf/cm²

Sistema de revestimento: Epóxi Novolac

Data da aplicação: 2001.

Inspecionado em 2004 e em 2007.

Na inspeção de 2004 foram inspecionados os dois tratadores, em um deles, identificaram-se falhas em 0,3 m² deixando o aço expostos (0,7% da área total revestida – 42 m²). E área um pouco maior com formação de bolhas sem deixar o aço exposto.

As bolhas foram abertas e, embaixo delas, havia uma primeira camada de Epoxi Novolac intacta. Não se conseguiu medir espessura desta camada. Ao revisar os registros da aplicação, identificou-se que, por necessidades operacionais, a aplicação do revestimento no Tratador foi interrompida para ser realizado um teste hidrostático com água do mar, e depois o equipamento liberado para continuar o serviço, sem nenhuma nova descontaminação ou novo jateamento. Por este motivo foi decidido, pelo cliente, a remoção de todo o revestimento para inspecionar o substrato, que não apresentou alvéolos ou perda de espessura. Foi feita então nova aplicação do mesmo produto, e até o momento, após dez anos, não foi necessário fazer novos reparos (Figuras 1 e 2).



Figura 1 - Falhas encontradas



Figura 2 - Novo revestimento feito em 2004.

No segundo Vaso foram identificadas pequenas regiões com destacamento, perto da BV e na calota SE. E alvéolos na calota inferior, onde ficava nítida a falha do revestimento causada por impacto de ferramenta. Foram feitos reparos localizados e até o momento, não foi necessário fazer novas manutenções, figuras 3 e 4.



Figura 3.



Figura 4.

Caso Histórico no Brasil - 2

Equipamento: Dois Cones de Silos (Escoamento de Sólidos) com presença forte de H_2O , SO_2 , SO_3 , e formação de H_2SO_4 . Totalizando 760 m²

Material de construção: Aço Carbono

Temperatura Operacional: 100 a 115° C

Depois de dois anos em operação, os silos apresentavam corrosão severa, com furos. Foi necessário fazer reforço estrutural e depois foi revestido.

Sistema de revestimento: Epóxi Novolac, disponível no mercado desde 2009

Data: 2011

Inspecionado em 2013. Menos de 5 m² com defeito, figura 5 e 3.



Figura 5 - Revestimento em 2011..



Figura 6 - Inspeção em 2013.

Fase 2

Desenvolvimentos posteriores a 1994, usando cargas reagentes (quimicamente intertravadas) permitiram aumentar a resistência térmica em imersão até 150-180° C.

O sistema foi desenvolvido a partir da modificação do fenol epóxi novolac que teve sucesso em temperaturas de até 120° C, mas que falhava quando a temperatura em imersão se aproximava a temperatura de distorção térmica (143° C).

Para aumentar a resistência térmica em imersão, foi necessário aumentar a resistência térmica do aglutinante polimérico e usar cargas que permitissem maior intertravamento.

Depois de vários métodos tentados, um novo desenvolvimento da resina fenol epóxi novolac que aumentou a resistência térmica ao mesmo tempo em que criava espaços para ligações químicas com cargas especiais aumentando consideravelmente a temperatura de distorção térmica, assim como reduziu a permeabilidade do sistema.

Teste

Testes em laboratórios próprios foram realizados em células similares a células Atlas, com resistência a altas pressões. Os parâmetros de projeto destas células são:

- Temperatura máxima do fluido – 150° C.
- Pressão máxima – 16 kgf/cm²
- Capacidade de testar fluidos aquosos ou de poços (de petróleo).

Resultados do teste - Sistema modificado para altas temperaturas

Este sistema foi testado nos limites da célula de teste com e sem revestimento térmico.

Os painéis foram imersos em fluido de poço a temperaturas de 150° C e 185° C por período de 10 semanas durante as quais as células foram despressurizadas e pressurizadas para simular condições de operação associadas aos separadores de teste de Óleo/Gás. A inspeção dos painéis mostrou que não houve nenhum sinal de deterioração do revestimento.

Conclusão:

Sistema de revestimento adequado para aplicações envolvendo imersão em fluidos de poço ou soluções aquosas a temperaturas de até 180 °C quando isolados termicamente. Além dos testes próprios, testes independentes foram realizados pela Shell Expro (UK), a temperaturas

de 130 °C e pressão de 30 kgf/cm² e constataram que o revestimento resistiu a estas condições.

Caso Histórico no Brasil

Revestimento de quatro vasos de FPSO na Bacia de Espírito Santo (Total de 1300 m²).

Temperatura de Operação – 120 °C / Temperatura de projeto – 160 °C.

Pressão de Operação – 7,1 kgf/cm² / Pressão de Projeto – 14,8 kgf/cm²:

Material de construção: Aço-carbono

Sistema de revestimento: Epóxi Novolac Modificado com cargas cerâmicas.

Data do Serviço: 2009 / Início de operação, 2010.

Especificação: Jato de granalha até Sa 2 1/2, perfil mínimo de 75 µm. Sistema aplicado em espessura de (800 a 1000) µm. Cura em temperatura ambiente durante 24 horas.

Inspeção: Dois TOs inspecionados em 2013, um em fevereiro, sem identificação de falhas e outro em setembro com pequenos defeitos, que totalizaram 0,6 m² de área com falha. Cada TO tem 370 m² de área revestida (figuras 7 a 10)



Figura 7 - Aplicação em 2009.



Figura 8 - Um dos defeitos identificados.



Figura 9 - Inspeção 2013, sem defeitos.



Figura 10 - Acessórios revestidos em 2014.

Fase 3

Conforme demonstrado com os casos relatados, os revestimentos epóxi novolac de alto desempenho têm apresentado excelentes. Eles têm, entretanto, duas limitações, a saber:

- a) Os que apresentam cura em 24 horas têm alta viscosidade, por esse motivo, a aplicação é feita com uso de pincéis e espátulas, aumentando consideravelmente o tempo de indisponibilidade dos equipamentos quando se trata de equipamentos de médio/grande porte.
- b) Os que têm viscosidade adequada para aplicação por pistola, apresentam cura demorada, de até 5 dias, resultando em problema similar ao citados no sub-item a).

Utilizando tecnologia com fenol epóxi novolac e substituindo as cargas por outras menos abrasivas, obtiveram-se revestimentos com boa resistência térmica, boa resistência à erosão/abrasão, cura rápida (24 horas) e facilidade de aplicação por bombas Airless, eliminando os problemas dos produtos desenvolvidos nas fases 1 e 2.

Caso Histórico no Brasil

Equipamento: 160 m² em Vasos de FPSO na Bacia de Espirito Santos

Temperatura Máxima de Operação – 120° C.

Material de construção: Aço Carbono

Sistema de revestimento: Modificado Epóxi Novolac .

Data do Serviço: 2012

Especificação: Jato de granalha até Sa 2 ½, com perfil mínimo de 75 µm. O sistema foi aplicado em espessura de (650 – 800) µm. Cura em temperatura ambiente durante 24 horas. Ainda não inspecionado – Aplicação do revestimento por airless, com tempo de aplicação 1,5 h por camada. Ainda não inspecionado (figuras 11 e 12).



Figura 11.



Figura 12

Fase 4

Fase atual, utilizando tecnologia com fenol epóxi novolac e substituindo as cargas por outras termoplásticas, obtiveram-se revestimentos com boa resistência térmica, boa resistência à erosão/abrasão, flexíveis, aplicáveis em duas camadas com janela pequena para aplicação para segunda camada, cura rápida (24 horas) e facilidade de aplicação por bombas airless, eliminando os problemas dos produtos desenvolvidos nas fases 1 e 2 e superando as

facilidades dos produtos da fase 3. Estes produtos de última geração já se encontram disponíveis no mercado.

O desenvolvimento recente de sistemas de revestimentos curados a frio tem permitido apresentação de soluções de alta resistência térmica, química e mecânica, cada vez mais fáceis de aplicar, e com eficácia comprovada.

Conclusões

As inspeções das experiências brasileiras demonstram claramente que os revestimentos para altas temperaturas, em condições severas de ataque químico e de erosão, têm tido excelente resultados. Esta conclusão se apoia nos casos apresentados, inspecionados depois de 2, 3 e 7 anos de receber o revestimento, de Tratadores Eletrostáticos e de silo com presença de H₂SO₄ e abrasão por escoamento de sólidos.

Os novos desenvolvimentos têm adicionado ao bom desempenho, facilidades de aplicação e inspeção que permitem supor diminuição de falhas de aplicação e do tempo de indisponibilidade dos equipamentos. Entre as facilidades podem-se citar: maior flexibilidade, aplicação por airless, possibilidade de aplicação em duas camadas de cores diferentes com curto intervalo entre camadas, possibilidade de medir espessura do revestimento, inspeções por Holiday Detector via seca.

Referências bibliográficas

- (1) Gaskin AD. "The use of coatings to Prevent Corrosion In Process Vessels Operating at Elevated Temperatures an Pressures", Corrosion Management, London, 20-23 (September/October) 2001. base do texto.
- (2) Meland T. "Polymeric coatings for internal corrosion protection of process tanks offshore", Publicado pela Statoil (Janeiro/1997).
- (3) Harrison CR, "Testing of paints for oil/brine service up to temperatures of 130o C and 30 bar pressure", Publicado pela Shell Expro (GB) Exploração e Produção (Março/1998).
- (4) Gentil V, " Corrosão", Terceira Edição, Rio de Janeiro, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1996.
- (5) Relatórios Técnicos de Serviços realizados pela HITA,