Jurandir Primo

Polímeros & Compósitos
Engenharia & Aplicação Geral

Jurandir Primo
Copyright @ 2022
1ª edição – Agosto de 2022

Capa: Jurandir Primo – Sorocaba/SP

Primotech - Engineering Manuals

Primo, Jurandir

Química Tecnológica, Polímeros, Epoxi e Outros;

Índice para pesquisas: Polymers, Resins, Thermosets, Sistemas Industriais

ISBN:

Livro no sistema de auto-publicação cuja edição, revisão, diagramação e capa foram selecionadas pelo próprio autor, para diminuir custos e facilitar a todos os interessados em engenharia e tecnologia.

O autor permite que todas as partes do livro possam ser copiadas ou reproduzidas para fundamentos educacionais, instrutivos e treinamento técnico.

Para adquirir esta ou outras publicações do autor, enviar solicitação para:

jprimoable@gmail.com

A PDHOnline Approved Continuing Education Provider (USA)

INDICE:

1. **INTRODUÇÃO:**

2. **RESINAS EPOXI:**

3. **COMPÓSITOS NA ENGENHARIA MECÂNICA:**

a. **Tipos de Polímeros Epóxi:**
   a. **Tipos líquidos:**
   b. **Tipos de revestimento em pó:**
   c. **Tipos fluidos ou de baixa densidade:**
   d. **Tipos de massa, média ou alta densidade:**
   e. **Usinagem de Polímeros Epóxi, Pasta:**
   f. **Ligas Epóxi Rápidas:**
   g. **Polímeros Elasto-Cerâmicos:**
   h. **Polímeros Elastoméricos:**
   eu. **Reparos do bloco do motor:**
   j. **Adesivos Epóxi:**

b. **Materiais compostos:**
   a. **Polímeros e Compósitos de Alta Resistência:**
   b. **Polímeros de alta resistência x aços duros:**
   c. **Comparação de Resistência - Fibra de Carbono x Aço:**
   d. **ASME PCC-2 e ISO 24817:**

c. **Fibras e Polímeros Epóxi:**
   a. **Fibras de Carbono:**
   b. **Fibras de Aramida:**
   c. **Fibras de Vidro:**

4. **TIPOS DE RESINAS E APLICAÇÕES:**

Resinas Epóxi:
Resinas de Poliuretano:
Resinas de Silicone:
Resinas Acrílicas:
Resinas de Poliéster:

5. **COMPOSTOS E COMPÓSITOS EM TUBULAÇÕES:**

Formação de Pares Galvânicos:

Falhas na Tinta e no Primer do Substrato:
Soluções Inadequadas:
Tipos de Suportes de Tubos:
Aços Carbono Comuns para Tubulações:
Áreas Classificadas:
Sistema de Zona:
Conformidade com ASME PCC-2 e ISO 24817:

6. COMPOSTOS E COMPÓSITOS EM MINERAÇÃO:

Carcaças e Rotores de Bombas Centrífugas:
Revestimentos de Polias:
Britadores Cônicos e Britadores Giratórios:
Revestimentos Resistentes ao Desgaste:

COMPOSTOS E COMPÓSITOS EM ENGENHARIA CIVIL:

ACI PRC-440.2-17:
Corrosão galvânica:
CFRPs em Engenharia Civil:
GFRPs em Engenharia Civil:
Vergalhões CFRP:
Painéis Sanduíche:
Camadas de Reforço Compostas de Fibra:
Pré-impregnado:
Fitas de Fibra de Vidro:
Revestimentos Epóxi em Pisos e Pátios:
Adesivos para Concreto:

7. COMPOSTOS E COMPÓSITOS EM APLICAÇOES GERAIS:

Resinas de Aplicação Geral:
Resinas de Poliuretano:

8. LINKS AND REFERENCES:

1. INTRODUÇÃO:

Polímero (do grego poli-, "muitos" + -mero, "parte") é uma substância composta de **macromoléculas**, cuja formação compreende essencialmente a repetição múltipla de massas moleculares relativas baixas. Polímeros, naturais e sintéticos, são criados por meio da polimerização de pequenas moléculas, conhecidas como monômeros. Os polímeros vão desde plásticos sintéticos, como o poliestireno, até biopolímeros naturais, que são usados quimicamente de acordo com sua estrutura e função. O termo "***molécul***a" foi cunhado em 1833 por ***Jöns Jacob Berzelius***, mas o conceito moderno de polímeros como estruturas macromoleculares ligadas covalentemente foi proposto em 1920 por ***Hermann Staudinge***r, um químico alemão que demonstrou a existência de macromoléculas sintéticas, que ele caracterizou como "***polímeros***". Por este trabalho, ele recebeu o Prêmio Nobel de Química de 1953.

Os polímeros são estudados nos campos da ciência de polímeros (inclui química de polímeros e física de polímeros), biofísica e ciência e engenharia de materiais. O polisopreno da borracha de látex é um exemplo de polímero natural (e o mais importante é a "*borracha natural*", que é derivada da seiva das árvores). O poliestireno do isopor é um exemplo de polímero sintético. Styrofoam é uma marca registrada de **poliestireno extrudado** de célula fechada (XPS), fabricado como uma placa isolante de espuma usada em paredes, telhados e fundações como isolamento térmico e barreira contra água. Então, existem **dois tipos** de polímeros:

- **Natural:** São materiais poliméricos naturais, como cânhamo, goma-laca, âmbar, lã, seda e borracha natural são utilizados há séculos. Existe uma variedade de outros polímeros naturais, como a celulose, que é o principal constituinte da madeira e do papel.

 Sintético: Inclui polietileno, polipropileno, poliestireno, cloreto de polivinila, borracha sintética, nylon, baquelite (resina fenol formaldeído), neoprene, poliacrilonitrila, silicone, etc.

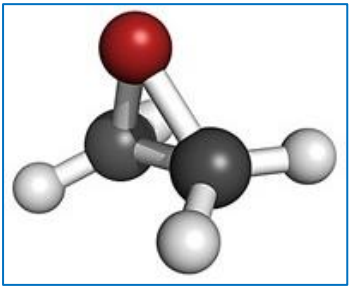
Polímeros Sintéticos: Os polímeros sintéticos são usados em quase tudo, sempre ligados às suas propriedades; baixa densidade, baixo custo, boas propriedades térmicas/elétricas, de isolamento, alta resistência à corrosão e fácil processamento em produtos finais. Para **aplicações especiais**, os polímeros podem ser aprimorados pela combinação com outros materiais, chamados de **compósitos**. Têm hoje em centenas de aplicações, como carros, aviões, edifícios, embalagens, isolamentos, fibras, pinturas, revestimentos, arte, odontologia, etc. Alguns podem ser citados como; polímeros de hidrocarbonetos, por exemplo, borracha, Nylon -6, 6, policloreto de vinila; polímeros termoendurecíveis: por exemplo, fenólicos, epóxis e silicones. Uma lista de aplicações é dada abaixo:

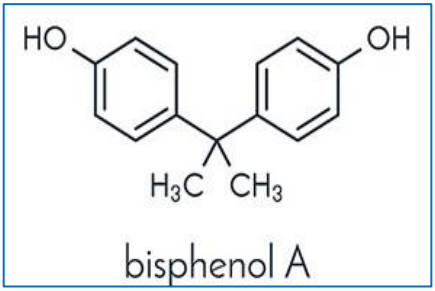
• Roupas, calçados esportivos, roupas de neoprene, bolas, bolas de bilhar, esquis, pranchas de snowboard, raquetes, pára-quedas, velas, tendas, abrigos, tampos de mesa, modelagem, etc.;
• Odontologia, células solares, televisão, computadores, discos compactos, fotorresistentes, holografia, etc.;
• Filmes, garrafas, embalagens, barris, etc.;
• Isolamento, usos elétricos e térmicos, espumas de spray, moldagem, molduras, etc.;
• Móveis, janelas, pisos, vedações, tubulações, válvulas, etc.;
• Vernizes, adesivos, dispersantes, revestimentos anti-incrustantes, lubrificantes, superfícies antiaderentes, etc.

2. RESINAS EPOXI:

As resinas epóxi são ***polímeros*** termoendurecíveis amplamente utilizados em forros, revestimentos, adesivos, tintas, implantes médicos, dispositivos elétricos e muitas aplicações gerais. Uma resina

termoendurecível é um polímero que cura ou endurece em uma forma dura por métodos de cura, como calor, radiação ou um agente de endurecimento. Resinas fenólicas, resinas amino, resinas de poliéster, resinas de silicone, resinas epóxi e poliuretanos (poliésteres, ésteres vinílicos, epóxis, bismaleimidas, ésteres cianato, poliimidas e fenólicos) são alguns exemplos de resinas termoendurecíveis. As **resinas epóxi** são tipicamente formadas pela reação de compostos contendo pelo menos dois átomos de hidrogênio ativo (compostos polifenólicos, diaminas, aminofenóis, e amidas heterocíclicas, dióis alifáticos, etc.) e epicloridrina. Enquanto as propriedades das resinas reticuladas dependem muito do sistema de cura e do uso de resinas epóxi na aplicação, as propriedades características mais comerciais são tenacidade, baixa contração na cura, alta adesão a muitos substratos, boa resistência a álcalis e versatilidade em formulação.





O epóxi também é amplamente utilizado como material de matriz em ***compósitos*** fibrosos para as indústrias ***aeroespacial*** e de turbinas eólicas. Os epóxis são ideais para essas aplicações devido à sua alta rigidez específica, resistência, propriedades de isolamento elétrico, resistência à corrosão, compatibilidade química com fibras de reforço e relativa facilidade de fabricação. Em muitas dessas aplicações, epóxis e compósitos são frequentemente usados para manutenção mecânica, reparos e construção civil, campos elétricos e outros ambientes hostis. O epóxi também é usado para modificar

vários polímeros, como poliuretano ou poliésteres insaturados, para melhorar seus atributos físicos e químicos.

Formação dos Polímeros Epóxi: Os polímeros epóxi são geralmente formados a partir da reação de ***poliepóxidos*** (monômeros) a ***poliaminas*** (endurecedores). A simplicidade das aplicações torna as resinas epóxi admiravelmente adequadas para uma série de ***aplicações*** artísticas e de ferramentas, como padrões, gabaritos, artesanato em madeira, joias, presentes, modelagem de metal, moldes de vácuo, etc. muito grandes em densidade, sistemas de baixa cura exotérmica são usados, também alcançados pelo uso de cargas, o que pode reduzir substancialmente o custo. Para peças fundidas de resina de formato complexo, a resina ***Bisfenol F*** às vezes é preferida por causa de sua viscosidade mais baixa.

Uma resina epóxi ou poliepóxido é um polímero termofixo que ***endurece*** quando misturado com um ***catalisador*** ou agente de endurecimento. As resinas epóxi mais comuns são feitas com uma reação entre ***Epicloridrina*** e ***Bisfenol-A***. Existem também resinas à base de ***Bisfenol F***, novolac, hidrogenadas, halogenadas e alifáticas. Os agentes de ***cura*** mais comuns são; poliamidas, poliaminoamidas, aminas alifáticas, aminas cicloalifáticas, aminas aromáticas, adutos de amina, anidridos, polimercaptanos e polissulfetos. As resinas epóxi possuem diferentes tipos. As resinas epóxi mais comuns são indicadas abaixo:

- **À Base de Bisfenol A:** É o mais utilizado devido à sua versatilidade e baixo custo, produzido a partir da condensação da Epicloridrina e do Bisfenol A, podendo ser líquido, semi-sólido ou sólido dependendo do peso molecular.

- **À Base de Bisfenol F:** Epóxi com melhor mecânica, baixa viscosidade e resistência térmica, principalmente se sua cura for baseada em aminas aromáticas ou anidridos.

 Resina Epóxi Bromada: É formada pela reação entre Epicloridrina Y e Tetrabromobisfenol A, com característica autoextinguível.

 Polietilenoglicol: O polietilenoglicol (PEG) de baixo peso molecular em pequenas quantidades (até 10%) melhora as propriedades de impacto e fratura de um polímero termoendurecível epóxi.

Resinas Epoxi: As resinas epóxi estão disponíveis no mercado, na forma *líquida, gel de baixa viscosidade, massa de alta viscosidade e sólida* (*em pó*). Podem ser *aplicadas como adesivos, revestimentos de superfície, construção de engenharia, reparos comuns, isolamento elétrico e arte*. As ferramentas feitas de metal, madeira e outros materiais revestidos com resina epóxi comprovadamente aumentam a resistência do material e sua longa vida útil. Devido à existência de um grande número de resinas epóxi e agentes de cura, o usuário deve ter cuidado ao escolher o tipo de epóxi para fins de revestimento, reparo, arte ou moldagem. O epóxi também é amplamente utilizado em ***tintas*** para melhorar a resistência dos *materiais de aço e são* ***resistentes à corrosão***. Os revestimentos em pó epóxi são usados para aplicações onde é necessária uma melhor resistência química e à corrosão ou uma estética de alta qualidade, mas a durabilidade externa não é importante.

As resinas epóxi, à *base de Bisfenol A (ou F) e Epicloridrina*, curadas à temperatura ambiente por aminas polifuncionais alifáticas e poliamidas são utilizadas em ***revestimentos anti-corrosivos*** *para navios, plataformas de petróleo e tanques de armazenamento, bem como tubulações de água*. As resinas epóxi também reagem em *temperaturas elevadas* com aminas aromáticas, anidridos cíclicos, aminoplastos e fenolplastos, e são amplamente utilizadas com resinas de revestimento acrílico, como revestimentos em pó ou revestimentos de alto teor de sólidos, bem como intermediários em revestimentos UV e aditivos para melhorar propriedades, como adesão e resistência. Os primers automotivos de eletrodeposição

são baseados em resinas epóxi reticuladas com poliisocianato. Resinas epóxi reagidas com ácidos graxos derivados de óleos produzem ésteres epóxi, que podem ser de secagem ao ar ou sem secagem ao ar. Os últimos encontram uso em revestimentos de máquinas e são normalmente reticulados com um aminoplástico.

Cura Epóxi: O *processo de cura de resinas epóxi* requer substâncias adicionais chamadas ***endurecedores*** *ou agentes de cura* para criar ligações cruzadas. Em geral, a estrutura cristalina do epóxi também é afetada pelo processo de cura, que pode ser um gel, uma estrutura líquida ou uma *massa de alta densidade*. As resinas epóxi *podem ser curadas por aminas, tióis (compostos químicos orgânicos semelhantes aos álcoois e fenóis), compostos de álcool, etc.* O agente de cura também pode afetar a viscosidade e a reatividade das resinas epóxi e determina o tipo de ligação química e o nível de ligações cruzadas formadas, que podem ser de endurecimento rápido ou lento. Os técnicos em aplicação de epóxi devem conhecer detalhadamente *as propriedades* das resinas epóxi no que diz respeito à sua mistura com os agentes de cura em várias proporções. O impacto da produção e aplicação em massa das resinas epóxi também exige um manuseio treinado e qualificado.

Aditivos e Cargas: Cargas de metal podem *melhorar a usinabilidade, dureza e condutividade térmica*, mas em alguns casos podem inibir a cura rápida. Como exemplos, *as cargas de* ***reforço*** *no epoxi* incluem: metais em pó para melhorar a resistência, condutividade elétrica ou térmica; *alumina para resistência à temperatura; sílica ou carboneto de silício para aumentar a resistência*; mica para resistência elétrica; talco e carbonato de cálcio para redução de custos; pós de carbono e grafite para aumentar a lubricidade. Em comparação com os poliésteres termoendurecíveis, as resinas epóxi geralmente apresentam melhores propriedades mecânicas e podem atingir melhor resistência à temperatura ou resistência química e também resistência a álcalis. A parte não epóxi da molécula pode

ser hidrocarboneto alifático, cicloalifático ou altamente aromático ou pode ser não hidrocarboneto e possivelmente polar. Estas moléculas também podem ser aplicadas à cadeia de agentes de extensão/reticulação, de modo que se podem obter produtos reticulados de grande diversidade. Os aditivos podem ser:

a) Aditivos de Borracha: São usados para aumentar a flexibilidade, resistência à fadiga, resistência a trincas, tenacidade em resinas epóxi. O nitrilo de uma borracha aumenta a sua solubilidade e eventualmente diminui o tamanho das partículas na matriz curada. Outros aditivos importantes usados para aumentar a resistência ou outras características do epoxi são; carbonetos, sílica, grafite, poliaramida, alumina, etc.

b) Aditivos Termoplásticos: São usados para aumentar a tenacidade à fratura de resinas epóxi. Termoplásticos comumente usados são fenoxi, amidas de bloco de poliéster, PVB, polissulfona, poliétersulfona, polimida, polieterimida e nylon.

c) Retardadores de Chama: São adicionados ao epóxi para incorporar suas características. A presença de halogênios e aromáticos na resina à base de curativo epóxi diminui a *inflamabilidade*.

d) Cores e Corantes: Uma ampla variedade de corantes pode ser usada nas resinas epóxis, como pigmentos inorgânicos, sienas naturais, branco de sulfeto de zinco, etc. e pigmentos orgânicos, como negros de fumo.

Pinturas e Revestimentos de Epoxi: As resinas epóxi também são muito utilizadas para ***pinturas e revestimentos***, principalmente ***anti-corrosivos***. Resinas epóxi reagidas com resinas de fenol formaldeído (PF) formam revestimentos insolúveis. As resinas epóxi líquidas podem curar em temperaturas de -40°C (-40°F) a