

Resinas para embutimento e encapsulamento para os setores elétrico e eletrônico.

As resinas utilizadas para essas aplicações poderão ser constituídas por vários tipos de produtos químicos. Durante muitos anos foram utilizadas resinas epóxi, que em geral são duras, resistentes e apresentam baixa retração durante a cura. Essas resinas se caracterizam pelo excelente nível de propriedades mecânicas, bom desempenho sob altas temperaturas e boa aderência a uma ampla variedade de substratos. Além disso, a resistência química também é boa. Normalmente, a ligação cruzada ou processo de cura ocorre lentamente, principalmente no caso de pequenos volumes de resina. Poderão ser utilizados endurecedores para aceleração da cura. Entretanto, os endurecedores geram muito calor durante a cura, provocando exotermia elevada que poderá danificar componentes eletrônicos e induzir tensões mecânicas elevadas, tanto nos componentes quanto no circuito.

Resinas de poliuretano são elastômeros ou borrachas quando estão no estado sólido e são preferíveis quando os circuitos a serem embutidos contêm componentes delicados como ferrites ou chaves de tubo de vidro. É muito mais fácil ajustar a velocidade de cura de sistemas de uretano. Além disso, a vida útil e o tempo no estado gelatinoso dos sistemas de uretano poderão ser ajustados para se adequar às necessidades dos clientes, o que significa tempos de processamento menores e menos trabalho em processamento. Durante a cura, os poliuretanos apresentam exotermia menor que a dos epóxios e normalmente o calor gerado não constitui problema, mesmo nos sistemas de cura rápida. Os poliuretanos comuns podem ser suscetíveis a água, principalmente sob altas temperaturas. Por outro lado, estão disponíveis uretanos à base de polibutadieno, que são muito resistentes a água, tanto durante o processo de cura como depois de curados. A Electrolube diferencia os dois tipos de poliuretano por meio do sistema de numeração utilizado: UR 50** e o UR 51** são materiais à base de polibutadieno; e o UR 55** e o 56** são uretanos convencionais. e o UR 55** e o 56** são uretanos convencionais. A facilidade para alteração das características do processo e para alteração das propriedades finais das resinas de poliuretano, está provocando um aumento na utilização dessas resinas para a encapsulamento de produtos elétricos e eletrônicos.

Resinas de silicone tendem a ser mais caras do que as de epóxi ou de uretano, mas são utilizadas quando estão envolvidas temperaturas elevadas de operação contínua (acima de 180° C). Além disso, o aumento exotérmico de temperatura nos sistemas à base de silicone é realmente muito baixo.

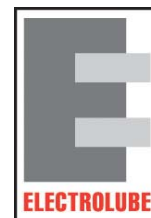


Sistemas à base de poliéster têm sido utilizados para embutimento e encapsulamento. Entretanto, os sistemas à base de poliéster apresentam exotermia muito elevada e alto nível de retração durante a cura. Isso poderá provocar danos nos componentes e no circuito. Além disso, o alto nível de odor proveniente dos sistemas que contêm estireno torna a utilização desses sistemas muito desagradável e difícil.

A Electrolube oferece uma ampla gama de resinas à base de epóxi e de poliuretano para embutimento, encapsulamento e outras aplicações. A grande maioria desses sistemas é de dois componentes, nos quais a resina tem que ser misturada com

um endurecedor, em uma proporção definida, antes da utilização. Os sistemas de resinas com dois componentes são disponibilizados a granel ou em kits. Os kits incluem a resina e o endurecedor na mesma embalagem, pré-pesados e na proporção correta, dispensando, assim, o usuário de pesar os componentes para utilizá-los.

As resinas são disponibilizadas também em pacotes, que são sacos plásticos divididos em dois compartimentos separados por um sistema de fecho removível. Também nesse caso a resina e o endurecedor já estão na proporção correta e, depois de removido o fecho, os dois componentes podem ser totalmente misturados dentro do saco, sem que haja entrada de ar. Depois da mistura, o



saco pode ser utilizado como aplicador do produto. A Electrolube oferece também uma linha limitada de epóxis de um componente que curam com calor e podem ser utilizados para pequenos encapsulamentos. É possível formular resinas de um componente que podem ser curadas por UV, mas essa tecnologia não é muito adequada para a formulação de resinas para embutimento, em decorrência de problemas relacionados a sombras e a penetração do UV, durante a cura de seções espessas e com inserções. São disponibilizadas também resinas de um componente para cura por umidade. Entretanto, a penetração de umidade para a obtenção de uma cura completa é um problema para uso em embutimento ou encapsulamento.

A maior parte dos sistemas de resina em uso atualmente é formada produtos complexos, com características de processo e propriedades finais ajustadas para atender as necessidades dos clientes, usando, para isso, a habilidade do formulador.

Normalmente as resinas à base de epóxi contêm diluentes ou redutores de viscosidade, que podem tornar a resina mais diluída e fácil de processar. Os diluentes podem ser reativos, e participar do processo de ligação cruzada, ou ser não reativos, sendo quimicamente inertes. repeated insertion and removal of wires from a cable joint without damage to the resin. Os diluentes reativos podem conter um grupo (monofuncionais) ou dois grupos (bifuncionais) de epóxi por molécula. O primeiro proporciona melhor redução da viscosidade, mas um nível de propriedades mecânicas inferior às do último. De modo geral, os diluentes reativos produzem um nível ligeiramente maior de flexibilidade no produto curado, mas podem provocar menor aderência, principalmente sob altas temperaturas. O ER 1448 da Electrolube é um exemplo de resina epóxi com viscosidade muito baixa, formulado utilizando uma mistura exclusiva dos dois tipos de diluentes, que permite o deslocamento eficiente do ar em circuitos pequenos e complexos, sem necessidade de vácuo para a remoção do ar aprisionado. Diluentes não reativos podem ser utilizados em proporções muito elevadas em poliuretanos para a obtenção de componentes moles para embutimento, que podem ser facilmente removidos do circuito para investigação de falhas ou para reparos. O UR 5048 da Electrolube é um exemplo popular desse tipo de resina. O UR 5044 é uma versão retardante de chama do UR 5048, aprovada com base na norma UL 94 V-0 do Underwriters Laboratories. O UR 5083 utiliza um diluente de tipo químico diferente e, quando curado, resulta em um gel auto-restaurador que permite várias inserções e remoções de fios em um mesmo conector, sem danificar a resina.



O endurecedor utilizado com a resina epóxi fornece uma contribuição muito importante para as propriedades finais. Além disso, a escolha do endurecedor é o principal meio para alterar a velocidade da cura. Os primeiros endurecedores utilizados eram de uma classe bastante agressiva de produtos químicos, chamados de amins alifáticas primárias. Esses endurecedores proporcionavam uma cura rápida, porém com exotermia elevada. São corrosivos para a pele e podem provocar dermatites e asma, caso não sejam manuseados com cuidado. Compostos químicos menos reativos e menos agressivos, conhecidos como amins aromáticas, permitiram que o produto curado fosse submetido a temperaturas de operação contínua mais elevadas. Entretanto, mesmo provocando menos dermatites e sensibilidades, passaram a ser objeto de preocupações cada vez maiores relacionadas a cancerigenidade. Normalmente, as amins endurecedoras são fornecidas sob a forma de misturas complexas de materiais diferentes e exigem habilidade dos especialistas em formulação. Anidridos de ácidos orgânicos produzem epóxis de baixa viscosidade, com temperaturas de operação contínua muito elevadas, mas que apresentam a desvantagem de precisarem normalmente ser fornecidos como sistemas de três componentes ao invés de dois componentes, além de sempre precisarem ser curados sob altas temperaturas.

As resinas de poliuretano convencionais podem ser à base de polímeros do tipo poliéter (ex.: óxido de polipropileno) ou do tipo poliéster (ex.: óleo de rícino). As primeiras normalmente exibem melhor resistência a água, mas as segundas apresenta melhor aderência. O segundo componente da resina é um isocianato, normalmente o difenil-metano-di-isocianato (MDI), o mais seguro dos



isocianatos comuns. É importante proteger as duas partes da resina contra umidade. Caso um dos componentes da mistura seja submetido a umidade, a água reagirá com o isocianato e produzirá bolhas de dióxido de carbono no interior do produto curado. Caso o isocianato seja submetido a umidade, serão produzidos um depósito sólido e dióxido de carbono gasoso, que poderá pressurizar a embalagem. A principal causa do umedecimento da resina ou do endurecedor é a abertura e o fechamento repetidos das embalagens. Cada vez que a embalagem é aberta entra ar úmido no espaço existente acima do líquido, e a água é absorvida pelo material. As embalagens deverão abertas e fechadas tão rapidamente quanto possível. A aplicação de nitrogênio antes do fechamento da embalagem poderá ajudar a evitar problemas. Se isso não for possível, a única solução poderá ser a compra o material em embalagens menores, se houver. Se forem utilizados poliuretanos em máquinas de mistura e aplicação, será necessário proteger os dois componentes contra umidade, por meio de instalação de dispositivos de secagem ou por meio da aplicação contínua de nitrogênio seco nos tanques. O isocianato é a parte nociva da formulação e não deverá ser aquecida ou aspergida, uma vez que isso provocará o aumento do nível de isocianato na atmosfera e provocará um aumento da sensibilização dos pulmões. Se houver dois grupos de hidroxilas em cada cadeia de poliéter ou de poliéster (um diol), haverá a formação de um produto curado mole, cuja dureza poderá ser aumentada

utilizando quantidades maiores de triol (três grupos de hidroxila por cadeia). Os uretanos à base de polibutadieno possuem uma cadeia de hidrocarbonetos longa, com pequenos grupos de hidroxila agregados. Essa cadeia de hidrocarbonetos dá origem a uma atração muito menor de água, tanto durante como após a cura, o que resulta nas vantagens mencionadas anteriormente.

Nos sistemas de uretano, a velocidade de cura poderá ser ajustada muito facilmente por meio da adição de quantidades maiores de catalisador ao componente resina. O catalisador poderá ser de vários tipos, incluindo aminas, compostos de estanho e compostos de mercúrio. Os compostos de mercúrio proporcionam o melhor equilíbrio de características: menor sensibilidade a qualquer umidade presente e longa vida de prateleira, associada a cura rápida e precisa. Infelizmente, a legislação da Comunidade Econômica Européia (EEC), também conhecida como Diretriz RoHS, continua a restringir cada vez mais o uso de compostos de mercúrio e os químicos ainda não descobriram um substituto perfeito.

As cargas sólidas são um componente muito importante de muitos sistemas de resina. As cargas sólidas (ex.: calcário em pó) podem ser acrescentadas simplesmente para reduzir o custo. Geralmente a economia de custo é um pouco menor do que se poderia supor a partir do custo por quilograma, uma vez que os sistemas com carga possuem densidade maior que os sem carga. Isso significa que, se forem necessárias 3 gramas de resina de densidade 1,0 para preencher uma unidade, serão necessárias 4,5 gramas de resina de densidade 1,5 para preencher essa mesma unidade. Em cada caso, o volume é de 3 ml. As comparações de custo de resinas concorrentes deverão sempre ser feitas por litro e não por quilograma.

Normalmente, a presença de cargas sólidas resultará em produtos curados mais duros e mais resistentes. Poderão ser acrescentadas cargas para atuar como retardantes de chama. Para esse fim, normalmente é utilizado o hidróxido de alumínio. O hidróxido de alumínio apresenta a vantagem de produzir pouca fumaça e baixos níveis de vapores tóxicos. O ER 2188 e o ER 2195 da Electrolube são exemplos populares de epóxis com carga retardante de chama à base de hidrato de alumina. Ambos são totalmente aprovados em conformidade com a categoria 94 V-O do Underwriters Laboratories. UR 5097, UR 5604 e UR 5608 são exemplos de poliuretanos retardantes de chama que utilizam o mesmo mecanismo para retardar chamas, lembrando que todos eles são plenamente aprovados na categoria 4 V-O do Underwriters Laboratories. A desvantagem é que são necessárias grandes quantidades de hidrato de alumina, resultando em uma resina com viscosidade relativamente elevada. Os compostos de bromina também podem ser utilizados como retardante de chama. Esses compostos são utilizados em níveis bem menores, resultando em sistemas com viscosidade menor. Normalmente esses sistemas funcionam melhor na presença de algum óxido de antimônio. Entretanto, a utilização de óxidos de antimônio provoca mais fumaça e um nível maior de vapores tóxicos. Na Europa, os retardantes de chama à base de pentabromobifenil já foram



banidos e há questões relacionadas a saúde e segurança em torno da utilização do óxido de decabromobifenil, anteriormente um dos mais utilizados retardantes de chama bromatados. Alguns acreditam que a incineração desse retardante de chama produz dioxinas. Entretanto, isso é controverso e as disputas legislativas tornam relativamente incerto o futuro desse material. Por outro lado, há alternativas disponíveis para o óxido de decabromobifenil. O ER 2165 da Electrolube é um exemplo desse tipo de epóxi de baixa viscosidade retardante de chama, aprovado de acordo com a UL 94 V-0. Atualmente, estão passando a ser disponibilizados novos retardantes de chama à base de brometo, de tipo químico completamente diferente, que não são afetados pela legislação europeia. O UR 5110 é um exemplo de poliuretano que utiliza essa novíssima tecnologia.

Vários outros tipos de carga podem ser utilizados em epóxios e poliuretanos. Esferas ocas de vidro e de plástico proporcionam menor densidade e baixa perda dielétrica. No caso de embutimento de circuitos de RF, a resina de enchimento poderá introduzir efeitos de capacitância entre os condutores de uma placa de circuito impresso e alterar, de modo inaceitável, as características do circuito. Poderá ser possível contornar esses problemas com a utilização de esferas ocas contendo resinas de baixa constante dielétrica. Exemplos típicos de resinas desse tipo produzidas pela Electrolube são as resinas ER 2193, ER 2175 e UR 5111. Pós de níquel e de prata fornecem condutividade elétrica à resina. A resina ER 2141 da Electrolube é um epóxi condutor de eletricidade, com carga de níquel. O óxido de zinco e o óxido de alumínio aumentam a condutividade térmica, mas o óxido de alumínio é extremamente abrasivo e provoca problemas de desgaste severo nos equipamentos de mistura e aplicação. O ER 2074 e o ER 2183 são exemplos muito populares de epóxios condutores térmicos com carga de óxido de zinco. Pó de sílica proporciona menor retração na cura e menor coeficiente de expansão térmica, mas é muito sujeito a sedimentação. Fibras de vidro moídas melhoram a resistência ao impacto e sulfato de bário proporciona opacidade aos raios X etc. e sulfato de bário proporciona opacidade aos raios X etc.

No início da utilização dos processos de embutimento e de encapsulamento, as resinas epóxi eram a principal opção de materiais. Recentemente, a tecnologia da resina epóxi apresentou uma tendência de amadurecimento e, agora, a maioria dos desenvolvimentos mais promissores dessa tecnologia está ocorrendo com a química do poliuretano. Isso está levando as resinas de poliuretano a dominar cada vez mais o mercado e a diminuir cada vez mais a participação de mercado das resinas epóxi.