

Revestimento isolante de placas de circuito impresso

Logo após a fabricação e limpeza, geralmente as placas de circuito impresso apresentam bom desempenho elétrico. Entretanto, esse desempenho se deteriora rapidamente devido à absorção de umidade atmosférica, contaminação da superfície por materiais iônicos existentes no ar, atração eletrostática de poeira pela superfície, condensação etc. Para evitar esses problemas, normalmente as placas com especificação mais rigorosa e destinadas a aplicações mais exigentes são revestidas no último estágio da fabricação.

De modo geral, os revestimentos isolantes são aplicados nos circuitos impressos por meio de imersão ou de aspersão, normalmente com espessura de 20 a 50 microns, embora revestimentos convencionais de silicone e outros revestimentos especiais possam ser aplicados com espessuras de até 100 microns. No caso de protótipos ou de pequenos volumes de produção, os revestimentos podem ser aplicados por simples pincelamento. Evitando a ocorrência de condensação na superfície, o revestimento ajuda a evitar a corrosão dos condutores e das conexões soldadas, além de reduzir o crescimento de dendritas entre os condutores, o que melhora a longo prazo o desempenho, reduzindo a erosão dos condutores e minimizando a ocorrência de curto-circuitos. A aplicação de revestimentos isolantes é particularmente importante em aplicações automotivas sob o capô e também em aplicações militares, aeroespaciais e industriais, principalmente em áreas onde a segurança é um fator crítico.

Entretanto, deve-se lembrar que os revestimentos isolantes têm suas limitações. Quaisquer contaminantes presentes na superfície antes da aplicação do revestimento isolante, serão selados pelo revestimento e poderão provocar problemas de longo prazo. Esses contaminantes podem incluir impressões digitais, resíduos de fundente, umidade e outros poluentes atmosféricos. Para a obtenção de desempenho ótimo de longo prazo, as placas sempre deverão ser limpas e secas antes da aplicação do revestimento isolante. Mesmo que sejam usados os chamados fundentes que não exigem limpeza, normalmente a limpeza das placas antes da aplicação do revestimento melhorará o desempenho e a confiabilidade de longo prazo. De modo geral os revestimentos isolantes não são muito eficazes para a proteção de aplicações que envolvem exposição significativa a água no estado líquido (que tem efeito diferente da exposição a vapor de água), principalmente se a água contiver materiais iônicos. Nesses tipos de aplicação, geralmente é necessário proteger a placa por meio de embutimento ou de encapsulamento. Quase sempre isso proporcionará um nível de proteção muito mais elevado do que poderá ser obtido por meio de revestimento isolante. De modo geral o embutimento é mais caro do que o revestimento isolante e, além disso, apresenta uma desvantagem significativa caso o peso do componente seja motivo de preocupação.

O revestimento isolante ideal deverá atender requisitos de desempenho que incluem boas propriedades elétricas, baixa permeabilidade a umidade, boa resistência química e durabilidade mecânica. Deverá apresentar boa aderência a todos os materiais da placa, como o material básico da placa, resistência à soldagem, ao cobre e aos materiais de soldagem, além dos vários materiais utilizados nos componentes instalados na placa. Em muitas aplicações as propriedades térmicas são importantes, com manutenção da flexibilidade em baixas temperaturas e elevada retenção das propriedades mecânicas em temperaturas elevadas. Testes típicos que poderão ser aplicados a placas com revestimento isolante incluem teste de tolerância de longo prazo a calor e

umidade, resistência a névoa salina e choque térmico, além de desempenho sob ciclos térmicos. Quando necessário, poderão ser aplicados também testes de resistência e de inflamabilidade.

No que se refere às características do processo de aplicação, o revestimento isolante ideal deverá ser de um componente (sistemas de dois componentes são de uso muito inconveniente), o banho deverá ter longa vida útil, a temperatura de cura ou de secagem deverá ser baixa e o tempo de secagem deverá ser curto. Há vários tempos de secagem: Tempo de secagem ao toque é o tempo necessário para que o revestimento não apresente aderência ao toque; tempo de secagem completa é o tempo necessário para que todo o solvente evapore de toda a camada de revestimento; e tempo de cura é o tempo necessário para a conclusão do processo de ligações cruzadas. A viscosidade deverá ser facilmente ajustável para que possa ser otimizada para o equipamento de aplicação utilizado. No caso de sistemas à base de solvente, um teor de sólidos elevado minimizará as emissões de solvente e reduzirá as preocupações ambientais. Equipamentos que permitem o uso de materiais com viscosidade mais elevada ajudarão a minimizar problemas ambientais.

Uma deficiência dos revestimentos isolantes líquidos convencionais é que não revestem bem protuberâncias pontiagudas ou bordas afiadas de componentes e, nessas regiões, o revestimento será muito mais fino ou até mesmo inexistente. Esse fenômeno é conhecido coloquialmente como enfraquecimento nas bordas (edge crawling) e é provocado pelo efeito de tensão superficial. Obviamente, pontas de solda deverão ser evitadas ou aparadas e conexões de componentes fabricadas a partir de fio com seção transversal circular serão melhor revestidas do que as conexões estampadas a partir de chapas planas. A incidência de enfraquecimento nas bordas pode ser minimizada por meio do controle cuidadoso da viscosidade do material utilizado para revestimento isolante. Além disso, a aplicação de várias camadas finas de revestimento produzirá uma cobertura melhor das bordas do que a tentativa de aplicar uma camada espessa. A Electrolube desenvolveu um revestimento isolante com carga especial, o DRCT, destinado a revestimentos com espessura em torno de 100 microns. Esse tipo de revestimento permite cobertura de bordas melhor que a obtida com resinas líquidas convencionais para revestimento.

De modo geral, os revestimentos isolantes se enquadram em diversas categorias químicas. As mesmas são:

Os revestimentos acrílicos, como o HPA e o APL da Electrolube, consistem quase invariavelmente de uma solução de polímero acrílico termoplástico, dissolvido em uma mistura de solventes orgânicos. Assim sendo, esses revestimentos secam pela simples evaporação do solvente: Não ocorrem ligações cruzadas. Isso significa que os revestimentos acrílicos podem amolecer sob altas temperaturas, mas significa também que podem ser facilmente removidos com solvente, para reparo da placa. Normalmente, solventes de baixo ponto de ebulição são usados como veículo e isso produz tempos curtos de secagem ao toque e de secagem total. A vida útil do banho é muito longa, uma vez que o solvente evaporado poderá ser repostado, mantendo-se a viscosidade especificada. Os solventes são inflamáveis e esse tipo de revestimento está sendo pressionado, devido à legislação ambiental cada vez mais restritiva em relação a emissões de solventes para a atmosfera. A resistência a umidade desse tipo de revestimento é muito boa, mas a resistência a solventes orgânicos é relativamente baixa.

Os revestimentos de epóxi são geralmente muito duros, frequentemente opacos e apresentam excelente resistência a umidade e resistência química em geral. Normalmente são fornecidos como sistemas de dois componentes, o que torna a utilização muito menos simples do que a de outros tipos de revestimento. A natureza da ligação cruzada desse tipo de revestimento produz excelentes propriedades mecânicas e resistência à abrasão, mas torna também quase impossível a remoção do revestimento da placa, após a cura. Assim sendo, o reparo da placa poderá se tornar um grande problema.

Os revestimentos de uretano proporcionam propriedades similares às do epóxi, com resistência à abrasão ainda maior. A resistência mecânica, a umidade e a solventes são boas, mas a natureza das ligações cruzadas dificulta a remoção do revestimento para reparo da placa.

Os silicones formam uma família bastante ampla de materiais diferentes, com uma gama de características e de propriedades diferentes. Os revestimentos convencionais de silicone poderão variar desde materiais resistentes a abrasão a revestimentos de elastômeros moles, que provocam níveis muito baixos de tensão nas placas e dos respectivos componentes. A cura pode ser tanto por calor ou por vulcanização na temperatura ambiente (room temperature vulcanising - RTV), normalmente por reação com a umidade atmosférica, que provoca ligações cruzadas. Os silicones alquídicos, como o DCA da Electrolube, são resistentes e oferecem um bom equilíbrio entre as propriedades mecânicas, elétricas e químicas. O nível de ligações cruzadas é melhorado pela cura a quente, de modo a produzir a máxima resistência a solventes e a produtos químicos. Quando comparados a outros tipos de revestimento, todos os revestimentos à base de silicone apresentam desempenho muito bom sob altas temperaturas.

Foram desenvolvidos também outros tipos de revestimentos especializados. Revestimentos para cura por UV curam rapidamente em linhas de produção, quando expostos a lâmpadas de UV. Esses revestimentos são especialmente úteis quando o volume da produção de placas é elevado. As áreas sob os componentes, que ficam protegidas da radiação UV, poderão curar mais lentamente, dando origem ao efeito conhecido como efeito sombra. Esse efeito poderá ser minimizado alterando a composição química, de modo a incluir um processo de cura secundário, que poderá ser de cura térmica ou por umidade. Nesses sistemas, conhecidos como sistemas de cura dupla, ocorre uma cura inicial rápida por UV na maior parte do revestimento, seguida por uma cura secundária, mais lenta, nas áreas sombreadas. A composição química dos materiais para cura por UV limita um pouco o desempenho do revestimento curado. De modo geral, as propriedades não são tão boas quanto as do já comprovados materiais à base de solvente.

Revestimentos isolantes à base de água foram desenvolvidos em resposta às crescentes pressões ambientais contra o uso de solventes orgânicos. Esses revestimentos tendem a secar um tanto lentamente e, com o aumento da espessura do revestimento, tendem a apresentar trincas do tipo "lama seca". Também neste tipo de revestimento, a composição química poderá limitar o desempenho do revestimento final curado.

Há um tipo muito especial de processo de revestimento, totalmente diferente de todos os descritos acima. É o processo parilene, desenvolvido originalmente pela Union Carbide. Nesse processo, um produto químico chamado di-p-xilileno é pirolizado a aproximadamente 650° C, sob alto vácuo. O monômero resultante polimeriza sobre todas as superfícies presentes no ambiente sob alto vácuo,

formando um revestimento muito uniforme e sem orifícios. Isso significa que, por meio desse processo, as placas que contêm bordas afiadas e pontas de solda são revestidas com muita uniformidade - conforme mencionado anteriormente, o efeito de tensão superficial que ocorre em todos os processos convencionais de revestimento líquido resultam em afinamento considerável do revestimento nas bordas e das pontas de solda. Além disso, o processo parilene é muito eficaz para o revestimento da superfície inferior dos componentes da placa, caso exista espaço entre a placa e o componente. Por outro lado, como se poderia prever, o processo de revestimento parilene é muito caro, quando comparado aos processos convencionais de revestimento. Estão disponíveis modificações da composição química, que produzem revestimentos com maior tensão de ruptura dielétrica ou, alternativamente, revestimentos com melhor estabilidade térmica.

Há várias normas sobre revestimento isolante de placas de circuito impresso. Algumas das mais importantes são a IEC 61086-1/2/3, IPC-CC-830 e UL 746E. A IPC-CC-830 é derivada da antiga MIL-I-46058 e agora substitui essa norma. A norma DEF-STAN 59-47, do Reino Unido, não está mais em vigor.

Seria interessante analisar neste documento algumas das propriedades mais importantes dos revestimentos isolantes. Essas são propriedades típicas, cujos valores serão encontrados nas planilhas de dados técnicos de revestimentos isolantes. Os testes foram compilados da norma IEC. A norma IEC 61086 especifica três classes de revestimentos isolantes, em ordem crescente de rigor dos respectivos critérios de aprovação. Essas classes são: Classe 1 - Aplicação Geral; Classe 2 - Alta Confiabilidade; e Classe 3 - Aeroespacial.

Tensão de ruptura dielétrica é a tensão na qual ocorre uma descarga elétrica, a uma distância padrão, entre condutores paralelos de um dispositivo de teste em forma de Y. Resistência de isolamento é a resistência entre dois eletrodos de um dispositivo de teste. Esses eletrodos consistem de um pente entrelaçado, no qual os "dentes" alternados do pente são conectados ao eletrodo positivo ou ao negativo. Normalmente, uma placa de teste combina dispositivos na forma de Y e de pente. (ver Figura 1) Testes de flexibilidade do revestimento são executados dobrando uma placa de cobre revestida ao redor de um mandril de 3 mm ou de 6 mm e verificando a ocorrência de trincas ou de rugas no revestimento. Testes de crescimento de bolor poderão ser feitos em um painel de vidro revestido. Testes de inflamabilidade são executados revestindo uma barra de teste feita com o mesmo material da placa de circuito impresso (normalmente FR-4) e aplicando uma chama padrão na extremidade. Os critérios para aprovação são estabelecidos em termos de tempo de queima após a remoção da chama e é especificada também a distância máxima percorrida pela chama.

Vários outros testes de exposição ambiental poderão ser executados, utilizando a placa revestida para teste, contendo os padrões Y e pente. Esses testes incluem testes de ciclos térmicos e de choque térmico entre temperaturas especificadas, com exame visual após os testes para determinar a ocorrência de escamação ou de delaminação do revestimento. São executados também testes de calor úmido - a subsequente resistência do isolamento deverá ser superior a 109 ohm e a tensão de ruptura dielétrica é também determinada e informada. No caso de revestimentos Classe 2 é realizado o teste de névoa salina e no caso de revestimentos Classe 3 são realizados testes a frio sob baixa pressão e teste de calor úmido.

Algumas outras propriedades elétricas poderão também ser encontradas nas planilhas de dados técnicos de revestimentos isolantes. Rigidez dielétrica é a

tensão na qual ocorre a ruptura dielétrica da película do revestimento, perpendicular ao plano da película. A resistividade elétrica do volume e a resistividade elétrica da superfície poderão também ser citadas, no caso de películas de revestimento curadas. Poderão também ser especificadas a constante dielétrica e a tangente de perda. Uma baixa constante dielétrica do material do revestimento poderá ser importante para revestimento de circuitos sintonizados. Uma constante dielétrica elevada poderá produzir efeitos indesejáveis de capacitância residual entre os condutores de superfície próximos e paralelos um dos outros e isso poderá modificar as características da sintonia do circuito. O índice comparativo da tensão de ruptura dielétrica (comparative tracking index) fornece uma medida bruta propensão do isolamento elétrico a falhas por ruptura dielétrica - normalmente provocadas por tensões elevadas que provocam a decomposição da superfície do isolamento, com a formação de caminhos de carbono condutor (tracks).

Finalmente, abordaremos os métodos e equipamentos disponíveis para a aplicação de revestimentos isolantes. Há muitos fornecedores de equipamentos de imersão utilizados para a aplicação de revestimentos isolantes, que disponibilizam uma ampla gama de sofisticções e de preços. No caso de aplicação de revestimentos por imersão, é importante controlar a velocidade de retirada da placa, uma vez que essa velocidade determinará a espessura do revestimento: Quanto mais lenta a velocidade da retirada da placa, menor será a espessura do revestimento resultante. A espessura do revestimento é determinada também por outros fatores, como viscosidade, teor de sólidos e temperatura da solução de revestimento. De modo geral as placas são imersas na posição vertical. Entretanto, equipamentos de imersão mais sofisticados poderão ter condições de inclinar as placas em vários ângulos em relação à posição vertical para facilitar a obtenção da espessura especificada do revestimento. Normalmente há determinadas áreas da placa (ex.: conectores ou outros pontos de contato elétrico) que não deverão ser revestidos. Caso esses pontos estejam abaixo do nível de imersão especificado, terão que ser mascarados com fita adesiva ou com isolante destacável, o que constitui uma operação cara e demorada.

Nos últimos anos tem havido um desenvolvimento cada vez maior de equipamentos de aspersão. Atualmente é possível aspergir apenas os pontos necessários da placa, eliminando a necessidade do uso de máscaras. Esse desenvolvimento fez surgir o revestimento com película e o revestimento em espiral (swirl coating), resultando na possibilidade de obtenção de uma gama mais ampla de viscosidades e de aumento da precisão da operação de revestimento. A combinação desses tipos de equipamentos de revestimento com linhas de cura por UV ou com fornos de infravermelho permite a produção, em alta velocidade, de placas com revestimentos complexos.

Qual será o futuro dos revestimentos isolantes? Atualmente é difícil igualar, com o uso das novas tecnologias, o desempenho há muito comprovado dos revestimentos isolantes à base de solvente. Prevemos que haverá pressões ambientais cada vez maiores contra a liberação de solventes orgânicos na atmosfera, com o conseqüente efeito no aquecimento global, na poluição ambiental geral e na formação de smog. [A Electrolube está disponibilizando, mediante solicitação, um artigo resumindo os requisitos das mais recentes Diretrizes Européias Sobre Emissões de Solventes (European Solvent Emissions Directive).] Essas pressões ambientais exigirão esforços cada vez maiores para a retenção e para a recuperação dos solventes liberados e, também, para desenvolver ainda mais a cura por UV e revestimentos à base de água, de modo a elevar o desempenho

desses processos para níveis mais próximos dos níveis atingidos por materiais mais tradicionais à base de solvente. Abordaremos ainda outras etapas para o desenvolvimento de revestimentos, tanto com altos teores de sólidos, como, finalmente, de revestimentos sem solventes.

J. F. Humphries