Fraunhofer FFB

tesa

Impulsionando a inovação juntos

Isolamento elétrico para células de bateria: Comparação entre fita de epóxi UV e revestimento UV

Introdução

Até 2035, um em cada dois carros vendidos mundialmente será um veículo elétrico[1]. À medida que os fabricantes de automóveis competem por uma fatia desse mercado em crescimento, há um foco crescente na melhoria do desempenho dos veículos elétricos (EVs).

No centro do desempenho dos EVs está a célula – o núcleo do pacote de baterias. Um pacote de baterias é composto por vários módulos de bateria. Cada módulo integra múltiplas células individuais, que fornecem proteção física, elétrica e térmica essenciais.

Uma análise de tendências indica que a demanda geral estará voltada para células prismáticas de grande porte. De acordo com os anúncios atuais, mais de 50% das células serão prismáticas até 2030. Para tornar as células seguras, ao mesmo tempo que se melhora a eficiência, o envelopamento e o revestimento – especialmente para células prismáticas – são opções para atingir esse objetivo.

[1] https://www.goldmansachs.com/insights/pages/electric-vehicles-are-forecast-to-be-half-of-global-car-sales-by-2035.html

Estado da Arte

Um passo importante na fabricação de pacotes de baterias é a aplicação de uma camada isolante para formatos de células prismáticas. A aplicação em células cilíndricas é relevante apenas em casos especiais, como em aplicações de alta tensão acima de 800 V, para evitar corrente de fuga e formação de ar.

O método atual de integração de células em módulos (cell-to-module) utiliza placas metálicas nas extremidades e laterais para manter a estrutura do módulo. Esse método garante a integridade estrutural do pacote. O envelopamento de células com adesivos sensíveis à pressão (PSA) fornece isolamento elétrico, mantendo as baterias funcionais e protegidas contra falhas dielétricas. Já os designs de baterias do tipo cell-to-pack e cell-to-chassis (também chamados de pacotes estruturais) utilizam as células como parte da estrutura, reduzindo a quantidade de componentes metálicos. Porém, manter essa integridade estrutural em condições extremas não é possível com a tecnologia PSA atual.

Capacidade dos adesivos atuais

Formatos maiores de células, bem como os designs cell-to-pack e cell-to-chassis, exigem um tipo de solução adesiva mais robusta para o envelopamento das células do que a atualmente disponível. As fitas adesivas para envelopamento precisam de maior resistência mecânica para suportar as exigências estruturais desses designs. Qualquer fraqueza pode causar curtos-circuitos, que, por sua vez, podem resultar em incêndios ou até explosões. Por isso, a segurança deve ser a prioridade máxima enquanto engenheiros trabalham para inovar as tecnologias existentes.
As propriedades das fitas adesivas atualmente utilizadas na produção de baterias para veículos elétricos não conseguem atender às demandas impostas pelo aumento da integridade estrutural. Por exemplo, os filmes ativados por calor exigem pressão sobre o substrato para garantir adesão adequada. Além disso, a temperatura elevada necessária para a cura – aproximadamente 120 °C – torna esses processos inadequados para a construção de baterias em pacotes, sem os suportes que compõem o módulo. Os eletrólitos dentro da bateria evaporam acima de 60 °C, tornando-os inviáveis nesse processo.
Além disso, o design cell-to-pack exige adesão capaz de suportar forças e tensões potencialmente maiores, à medida que o desempenho do veículo elétrico aumenta. Para atender a esses requisitos, pesquisas intensivas estão sendo realizadas em tecnologias de isolamento alternativas. Duas tecnologias, em particular, estão em destaque: revestimento UV e envelopamento UV com fita de epóxi.

Revestimento UV

O revestimento UV de invólucros de bateria é um processo para isolar células de bateria. Um revestimento especial é aplicado à superfície do invólucro e então curado usando luz ultravioleta (UV). O verniz geralmente consiste em um monômero ao qual fotoiniciador foi adicionado. Quando isso entra em contato com a luz UV, ele reage para formar radicais livres e uma reação de crescimento em cadeia começa, fazendo com que os monômeros se reticulem.

O processo de revestimento UV tem um tempo de cura de alguns segundos e nenhuma temperatura elevada é necessária. Também pode ser um método sem solventes, o que torna este método de revestimento ecologicamente correto.

O revestimento cria uma camada protetora contra corrosão, umidade e outros fatores ambientais que podem afetar o desempenho da bateria. No entanto, ele principalmente isola eletricamente a célula para evitar altas tensões nos níveis do módulo e do pacote.

No entanto, esse processo tem várias desvantagens também. Revestir as bordas das células em particular tem se mostrado difícil. Especialmente, uma espessura homogênea do revestimento UV nas células é desafiador de se obter. O processo atualmente envolve a aplicação de até três camadas para obter uma melhor distribuição de espessura. Essa abordagem pode resultar em aplicações irregulares que podem afetar adversamente o desempenho da célula. Além disso, as células são suscetíveis a danos causados por arranhões se a cura não for completa.

Em resumo, esta tecnologia tem as seguintes vantagens:

Cura em temperatura ambiente
O verniz aplicado é seco em temperatura ambiente sob luz UV em alguns segundos.

Alta flexibilidade de processo
O revestimento por meio de verniz pode ser feito independentemente das dimensões da célula.

Robustez do processo
O processo é caracterizado por maior robustez devido a menos partes móveis.

Reutilização do produto
O excesso de pulverização no processo pode ser coletado e reutilizado.

Sem solventes
Pode ser livre de VOC e ecologicamente correto.

Fita de epóxi UV

O envelopamento de células de baterias com fita de epóxi UV é uma alternativa eficaz para o isolamento de baterias. Esta fita é composta por uma camada fina de PET e uma camada adesiva de resina epóxi que cura com UV. Para proteger a superfície adesiva, a fita possui um liner siliconado que é removido antes da aplicação.

A fita é ativada pela luz UV, antes ou depois de ser aplicada à carcaça da célula, iniciando o processo de cura. Diferentemente de outros filmes, esta fita forma ligações estruturais e requer temperaturas mais baixas, cerca de 20 °C, o que é mais suave para as células.
O uso da fita de epóxi UV proporciona ligações estruturais e isolamento elétrico confiável, garantindo a proteção de componentes críticos em baterias de veículos elétricos contra falhas dielétricas.

Essa tecnologia acompanha as tendências de aumento no tamanho das células para aplicações automotivas. Além disso, o envelopamento UV apresenta alta estabilidade a longo prazo e resistência elétrica. O processo de produção permite um alto grau de retrabalhabilidade, reduzindo a taxa de desperdício e gerando um impacto positivo no processo de fabricação.

Além disso, o produto de epóxi UV possui várias outras características líderes de mercado, comprovadas em testes rigorosos:

Cura à temperatura ambiente:
Diferentemente de outros adesivos que exigem temperaturas acima de 80 °C para aplicação adequada, este epóxi UV pode ser ativado a 20 °C, se necessário.

Resistência a calor e umidade:
A fita de epóxi UV foi testada sob condições extremas – mais de mil horas em um ambiente com 85 °C e 85% de umidade relativa.

Alta resistência ao cisalhamento dinâmico: A fita de epóxi UV apresenta excelente desempenho em testes de lap-shear dinâmico, oferecendo altos níveis de coesão e adesão.

Processo de fixação flexível:
A ativação UV da fita pode ser realizada antes ou depois de sua aplicação, oferecendo opções flexíveis para as linhas de produção.

Alta elasticidade: Um fator essencial para a proteção da bateria contra impactos e indispensável ao lidar com inchaços ou outras deformações causadas por variações de temperatura ou outras condições.

Comparação:

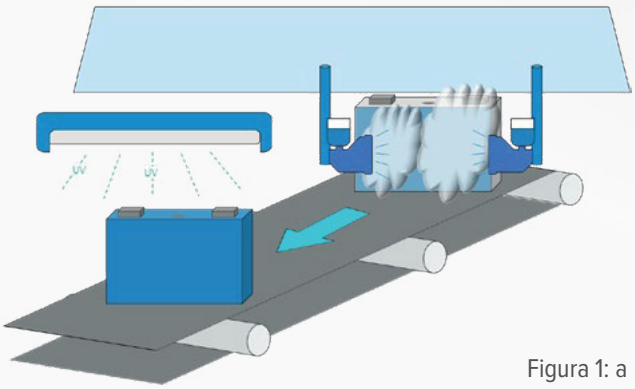

Figura 1: a

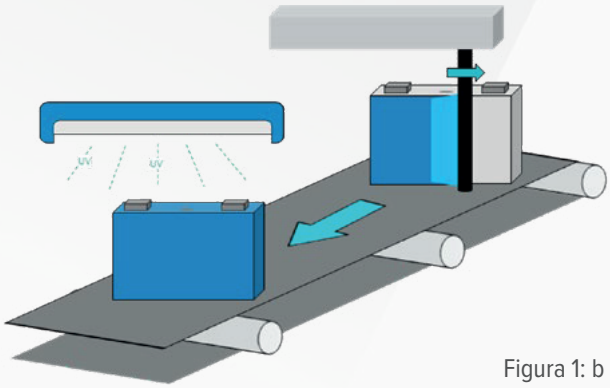

Figura 1: b

Figura 1: a) Esquema do processo de pintura UV: apresenta as etapas principais, incluindo a aplicação do revestimento e a cura com luz UV. b) Esquema do processo de envelopamento com fita de epóxi UV: mostra as etapas do envelopamento, a ativação com luz UV e o início do processo de cura.
Fonte: Desenhado por Fraunhofer FFB, adaptado por tesa

Se as duas tecnologias forem comparadas, as seguintes afirmações podem ser feitas:

Propriedade	Envolvimento de célula com epóxi UV	Revestimento UV
Custos de investimento	**Menor -** Os custos de investimento mais baixos resultam do fato de que não é necessário pré-tratamento e apenas uma etapa de secagem é necessária.	**Alto -** Considerando a totalidade da produção: equipamentos de pulverização, fornecimento e mistura de revestimento, várias estações de ativação UV, além da tecnologia de controle.
Custos de material	**Maior**	**Menor**
Consumo de energia / custos	**Mais eficiente -** Apenas uma estação UV é necessária, e o processo de envelopamento requer uma baixa quantidade de energia.	**Muito maior -** devido à configuração complexa da máquina, muitos passos do processo e procedimentos eletrônicos, além de 2-3 estações de cura UV. Mais espaço é necessário, e o consumo de energia é maior.
Escalonamento	**Muito bem escalável**	**Muito bem escalável -** Apenas custos de investimento mais altos, além de etapas adicionais de pré-tratamento e secagem.
Complexidade do processo	**Baixa -** Desde o desenrolar do rolo até a ativação UV e apenas uma ou duas etapas de envelopamento.	**Alta -** Com mistura constante do revestimento UV, três etapas de revestimento, três etapas de cura e uma etapa de limpeza do transportador. Especialistas também devem estar disponíveis em caso de problemas.
Flexibilidade do processo	**Menor -** o envelopamento não é flexível para diferentes designs de células.	**Maior -** flexibilidade do revestimento para diferentes designs de células.

Propriedade	Propriedade Envolvimento de Célula com Epóxi UV	Revestimento UV
Taxa de rendimento/ Confiabilidade	**Alta -** mais de 95%	**Menor -** menos de 90%, pois as partes não revestidas sujeitas a poeira e partículas causam perda de isolamento.
Opções de solução do sistema	O sistema pode ser combinado com fitas de envelopamento de células PSA - com benefício de custo cruzado. A fita de isolamento pode ser combinada com fitas de montagem sob medida.	
Tipo de célula	**Prismáticas e cilíndricas**	**Prismáticas e cilíndricas**
Pré-tratamento da célula	**Não é necessário**, pois a limpeza por plasma é suficiente.	**Limpeza por plasma e Estruturação a laser**
Retrabalhabilidade / Reciclagem	A fita pode ser removida **sem resíduos** manualmente ou por máquina, para retrabalhabilidade de curto prazo. Também é possível removê-la por laser.	A **remoção de tinta** por laser envolve a remoção de alguns micrômetros de alumínio.
Elasticidade	**Alta -** A elongação de 100% pode ser aplicada a formatos de carcaça de célula convexos ou côncavos e não apresenta problemas com a espessura do raio.	**Limitado** - aplicação de verniz menos uniforme devido às carcaças de célula convexas e côncavas e à espessura do raio.
Resistência à abrasão (transporte)	O design do produto (filme PET + adesivo epóxi) é **muito robusto** contra amassados e arranhões.	**Alto risco** de arranhões e abrasão (potencialmente causando perda parcial ou completa de isolamento), especialmente durante o transporte e a montagem.
Resistência à umidade e calor	Alta (testado por mais de 1000 horas a 85 °C e 85% de umidade relativa)	**Crítico -** Com elasticidade limitada, há um alto risco de rachaduras.
Resistência química	**Alta**	

O processo de aplicação de epóxi UV oferece uma solução mais eficiente e eficaz do que o revestimento UV:

- Com uma camada de envelopamento contra três revestimentos UV, é possível economizar tempo e recursos.

- A fita pode ser codificada por cores à medida que é dobrada ao redor da célula, garantindo a aplicação correta.

- A fita pode ser removida manualmente ou por máquina, sem resíduos, enquanto a remoção do revestimento UV exige o uso de laser, o que também causará a remoção de alguns micrômetros de alumínio por baixo.

- Células envolvidas com epóxi UV podem ser manuseadas imediatamente após a aplicação, o que ajuda na eficiência da produção. O revestimento UV pode ser arranhado antes da cura ser concluída, o que desacelera o processo.

As mudanças necessárias na linha de produção seriam mínimas e até impulsionariam mais eficiências.

- O espaço necessário não é maior do que uma linha de envelopamento padrão.
- Não há solventes ou fumos a serem tratados, portanto, não há necessidade de gastos adicionais com HVAC/proteção.
- Apenas uma estação UV é necessária, e quando estiver na posição desligada, pode até permanecer parte da linha de envelopamento padrão.
- As estações podem ser 100% adaptadas às necessidades do projeto.
- O processo é limpo e simples, com mínima necessidade de manutenção.

Visão geral do processo

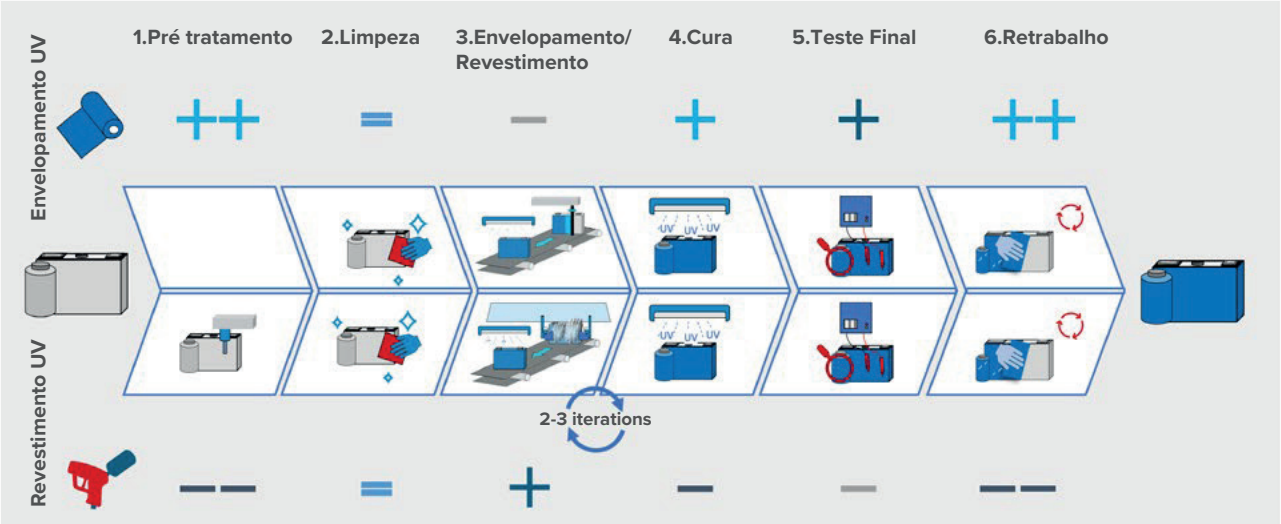

Figure 2: Visão geral do processo, incluindo comparação em pares das etapas individuais do processo

Conclusão

Uma combinação de requisitos complexos de produto e limitações industriais exige uma solução igualmente inovadora. Desempenho e eficiência são forças motrizes chave no futuro do design de baterias de veículos elétricos (EV). Com o epóxi UV, podemos ajudar a oferecer ambos.

Podemos avaliar os processos de aplicação dos clientes e trabalhar juntos para encontrar a fita e a solução de automação adequadas.

Além disso, nosso produto pode destacar a importância da colaboração com nossos parceiros para desenvolver produtos de ponta.

Os designers de baterias de EV precisam da liberdade para criar produtos que possam ajudar a aliviar o peso, mantendo os níveis de desempenho. Com o epóxi UV, eles podem fazer exatamente isso.

Fale com um especialista sobre a linha de produtos tesa hoje mesmo e veja o que ela pode fazer pelos seus projetos.

Tendências futuras

Os designers de baterias de EV estão buscando uma solução que possa facilitar a remoção da estrutura metálica de suporte, reduzindo o peso e, portanto, potencialmente aumentando o desempenho. A tecnologia cell-to-chassis está surgindo como uma candidata viável, mas a solução mais imediata é o cell-to-pack.

Usar o cell-to-pack para projetar baterias de EV significa que você pode reduzir o uso de componentes de suporte, como placas laterais. O volume economizado no design da bateria oferece aos fabricantes a opção de aumentar o número de células, o que pode aumentar a autonomia (desde que outras adaptações tenham sido feitas no design do veículo), ou reduzir o peso total da bateria. A utilização da tecnologia cell-to-pack pode melhorar a eficiência das baterias, potencialmente resultando em um desempenho aprimorado dos veículos elétricos.

Para tornar o cell-to-pack uma opção viável, deve haver um tipo forte de ligação estrutural.

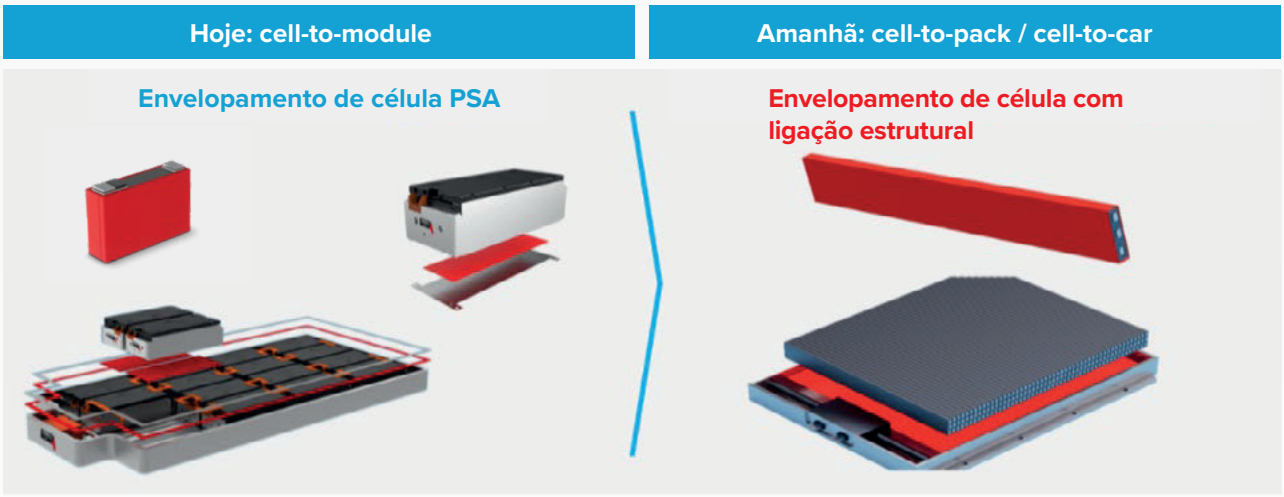

Figure 3: Comparação entre a tecnologia de célula para módulo e célula para pacote

Jan-Darius Plöpst | Miha Podbreznik | Marcel Diehl | Marius Böhmer

Fraunhofer Research Institution for Battery Cell Production FFB
Bergiusstraße 8
48165 Münster, Germany
www.ffb.fraunhofer.de

tesa SE
Hugo-Kirchberg-Str. 1
22848 Norderstedt, Germany
www.tesa.com