

Classificação aprimorada de resíduos plásticos com pigmentos luminescentes

Marcadores luminosos substituto HolyGrail 2.0

A Iniciativa HolyGrail 2.0 tem como objetivo melhorar a classificação de resíduos plásticos. Para isso, marcas d'água digitais contendo informações sobre o tipo de embalagem, o material e o uso serão aplicadas aos produtos. No entanto, o método também apresenta algumas desvantagens. Nesse caso, os pigmentos luminescentes oferecem uma alternativa permanente e que pode suportar vários ciclos de processamento.



Os masterbatches de marcadores permitem que diferentes informações sejam inseridas em plásticos. Isso pode ser usado para melhorar o círculo de reciclagem.

© Leuchtstoffwerk Breitung

Enquanto isso, o uso de sensores de infravermelho próximos para funciona muito bem. Sistemas adicionais de processamento de imagens acoplados à IA correspondente detectam o formato de um objeto para fornecer informações adicionais para a classificação da respectiva embalagem plástica.

Kunststoffe international 6/2022 www.kunststoffe-international.com

Espera-se que a Iniciativa HolyGrail 2.0 traga mais melhorias na classificação. Para isso, foi desenvolvido um método para a aplicação das chamadas marcas d'água digitais em toda a superfície do objeto, nas quais as informações sobre o tipo de plástico e o uso (por exemplo, alimentos ou não-alimentar). Posteriormente, a mar-

ca da água podem ser detectadas por meio de sistemas de câmera adequados.

Há dois métodos distintos: o processo baseado em filme de impressão (micropontos 2D) e o processo baseado em molde (micropontos 3D).

Criados dessa forma, os micropontos/microespigões são aplicados com um código separar a distância e cobrir uma A marca d'água é aplicada em uma área de 22 x 22 mm no respectivo objeto, formando assim a marca d'água digital. A marca d'água é então recolocada em toda a superfície do objeto.

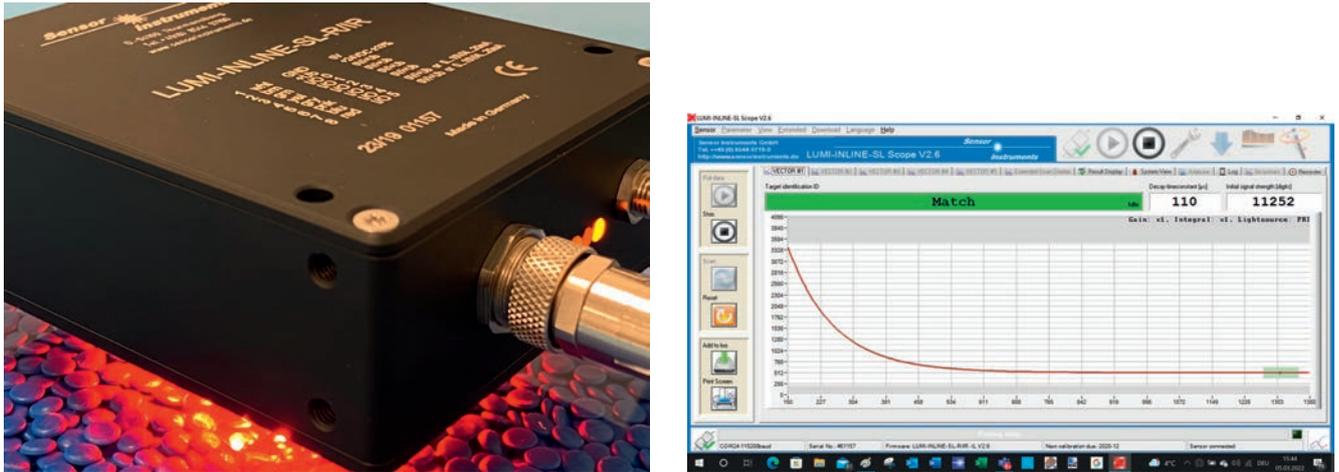


Fig. 1. The luminescent pigments are stimulated by light, and their emissions measured. Evaluation software is used to visualize the results.

© Sensor Instruments

Dificuldades do HolyGrail 2.0

Entretanto, com essa abordagem óptica baseada em contraste, os plásticos de cores claras, em particular, provavelmente representarão um problema de legibilidade de codificação para os sistemas de visão. Além disso, materiais deformados e sujos - que passam pelas câmeras a cerca de 3 m/s e a uma distância de alguns centésimos de milímetro - devem ser esperados na operação de classificação. Além disso, a detecção de códigos provavelmente será impossível depois que os objetos tiverem sido triturados. Durante a extrusão, no máximo, o código digital derreterá e as informações armazenadas no objeto serão inevitavelmente perdidas. Como resultado, a diferenciação entre alimentos e não alimentos não será mais possível.

Além disso, devido aos processos de fabricação e às geometrias dos componentes, é provável que a aplicação de marcas d'água digitais seja difícil em muitos produtos plásticos. A complexidade de alguns componentes, bem como sua superfície estrutura de um plástico, por exemplo, tecido em embalagens flexíveis, espumas ou têxteis, tornará quase impossível a aplicação de uma marca d'água 2D ou 3D. Portanto, o

marca d'água 2D ou 3D. Portanto, o monitoramento completo do circuito plástico por meio de marcas d'água digitais é improvável.

Marcadores permanentes resistentes a processamento

Para monitorar a seção do processo de reciclagem imediatamente antes ou depois da extrusão do reciclado, uma marcação ou codificação permanente, resistente ao processamento e à temperatura, deve ser incorporada à matriz plástica. Isso permite que a lacuna no monitoramento do material seja preenchida, especialmente em relação à identidade, origem e qualidade. Normalmente, a marcação consiste em micropartículas inorgânicas fosforescentes. Devido às suas propriedades inertes e ao seu tamanho, sua introdução em praticamente todas as peças plásticas será possível, incluindo fibras de poliamida (PA), bem como fios e fitas plásticas com espessura de alguns centésimos de milímetro.

A vantagem aqui é que o marcador pode ser integrado ao material plástico sem intervir no processo de fabricação processos de produção estabelecidos. Portanto, é aconselhável recorrer a processos estabelecidos na produção de plásticos. Como resultado, master-

batches baseados em marcadores (figura do título) foram desenvolvidos pela Gabriel Chemie nos últimos anos sob o nome comercial TagTec (Taggant Technology). Eles garantem a integração das informações na matriz plástica por meio do marcador. Os marcadores são precisamente combinados com a respectiva aplicação e não têm influência sobre outras propriedades do produto final.

Pigmentos luminescentes robustos

Os marcadores TagTec são baseados em pigmentos luminescentes inorgânicos desenvolvidos e produzidos pela Leuchtstoffwerk Breitung. Graças à sua natureza inorgânica, os pigmentos são muito estáveis e insensíveis a influências químicas e físicas. Isso significa que os produtos plásticos podem ser identificados e reciclados mesmo após uma longa vida útil com contaminação e cargas pesadas.

Com um tamanho de partícula entre 2 e 8 µm, os marcadores são invisíveis para a

olho humano e, devido ao seu pequeno tamanho, não alteram as propriedades do produto.

Outra vantagem das marcações baseadas nesses pigmentos luminescentes é sua segurança toxicológica em diversos materiais. Alguns deles têm até mesmo aprovação para contato com alimentos e atendem aos altos requisitos da norma ÖkoTex. Por meio de masterbatches, os pigmentos podem ser integrados a todos os produtos plásticos sem problemas, onde são firmemente incorporados à matriz. Eles foram desenvolvidos especificamente para alta eficiência em combinação com boa resistência e fácil processabilidade. Para uma marcação eficiente, devem ser usados marcadores altamente luminosos, pois, por motivos econômicos, sua concentração deve ser muito baixa para uso generalizado na reciclagem de plásticos. Os marcadores podem ser produzidos em grandes quantidades e sempre com a mesma qualidade. Portanto, a resposta espectral dos pigmentos TagTec, por exemplo, para a indústria alimentícia, é sempre a mesma e pode ser distinguida de forma permanente e segura de outras marcações TagTec.

Fluorescência ou fosforescência

Além da eficiência dos marcadores, o uso econômico do sistema é influenciado de forma decisiva pelo desempenho da detecção. Portanto, os sensores de detecção de marcadores da Sensor Instruments foram otimizados de acordo. A detecção de pigmentos luminescentes inorgânicos é baseada em duas propriedades do material: fluorescência e fosforescência.

Com os pigmentos fluorescentes, o material é estimulado com luz de um determinado comprimento de onda, por exemplo, na faixa de UVA, e posteriormente a emissão óptica das partículas é medida. Normalmente, ela se encontra nas regiões de maior comprimento de onda, aproximadamente na faixa visível. Após desligar a luz estimulante, os pigmentos com comportamento fosforescente exibem uma diminuição exponencial da chamada luz secundária (Fig. 1). Um valor característico para isso é a constante de tempo Tau. Se a fluorescência de um marcador em uma determinada faixa de onda for reduzida, a luz secundária será reduzida com o ta-

manho da a faixa de comprimento for medida simultaneamente com a estimulação, serão necessários filtros ópticos para separar a estimulação e a emissão. Mas, além da intensidade de emissão em uma faixa espectral, a distribuição aleatória de partículas marcadoras em uma área de superfície também pode ser usada como informação.

Se a superfície de uma peça plástica for iluminada com uma luz estimulante específica do marcador e a imagem fluorescente for visualizada com uma câmera adequada, as partículas do marcador aparecerão como um céu estrelado, conforme mostrado na Figura 2. A distribuição dos pontos luminosos detectados dessa forma pode ser codificada matematicamente, armazenada em uma nuvem de dados e usada para a autenticação de produtos individuais. Dessa forma, a proteção contra falsificações não resulta da intensidade luminosa ou da característica de emissão do marcador, mas da distribuição aleatória dos pontos luminosos selecionados. A Sensor Instruments usa esse método com o nome comercial Lumi-Star.

O uso de marcadores fosforescentes é vantajoso para a identificação de materiais plásticos, pois não requer banco de dados. Na verdade, o mais importante para a detecção é que os marcadores usados não influenciam uns aos outros opticamente. Com todos os marcadores fosforescentes, a estimulação é realizada com um flash de luz muito curto, mas intenso e de faixa estreita. Esse pulso de luz cria um brilho residual do tipo de marcador fosforescente que é receptivo a esse comprimento de onda. A intensidade (Int) do brilho posterior informa sobre a quantidade de marcadores no respectivo produto, enquanto o tempo de decaimento (Tau) é uma indicação de

marcador correspondente em uma família de marcadores. Definida pela constante de tempo (eco óptico), a duração do decaimento depende do marcador e está em algum lugar na faixa entre 100 e 1.000 μ s. Os marcadores podem ser detectados na embalagem, depois que os flocos são triturados, e também nos pellets após a extrusão. Para essa finalidade, a Sensor Instruments oferece detectores de Tau da família Lumi-Tau.

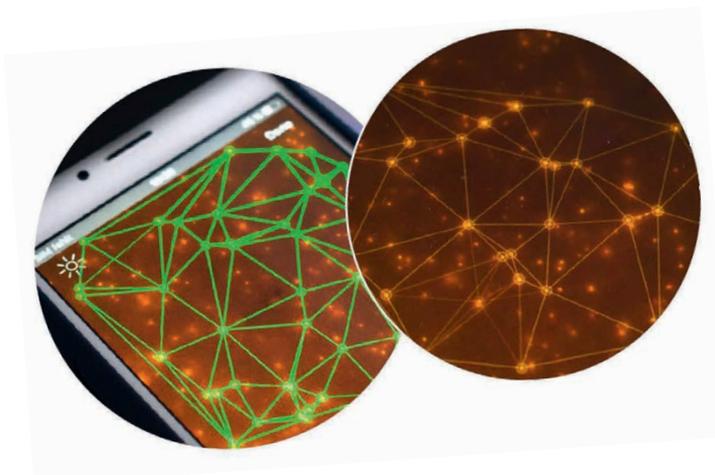
Quatro áreas de aplicação para os lotes

Desenvolvidos especialmente para o sistema TagTec, os masterbatches de marcadores devem garantir uma detectabilidade específica combinada com uma implementação de custo otimizado. Principalmente, os sistemas TagTec podem ser divididos nas seguintes áreas:

A área de autenticação de produtos abrange as áreas de aplicação de identificação e segurança de produtos.

Isso permite a implementação de tarefas simples e complexas, de níveis de segurança baixos a muito altos, bem como a transferência de informações por meio de palavras marcadoras. De acordo com os níveis de segurança e função exigidos, essas palavras marcadoras específicas do cliente permitem a representação de soluções personalizadas. Elas podem ser usadas em diferentes processos, incluindo aplicações de reciclagem e economia circular.

A área de detecção de material (processo Tau) descreve todas as formulações de marcadores usadas especificamente para o procedimento descrito acima. Elas podem »



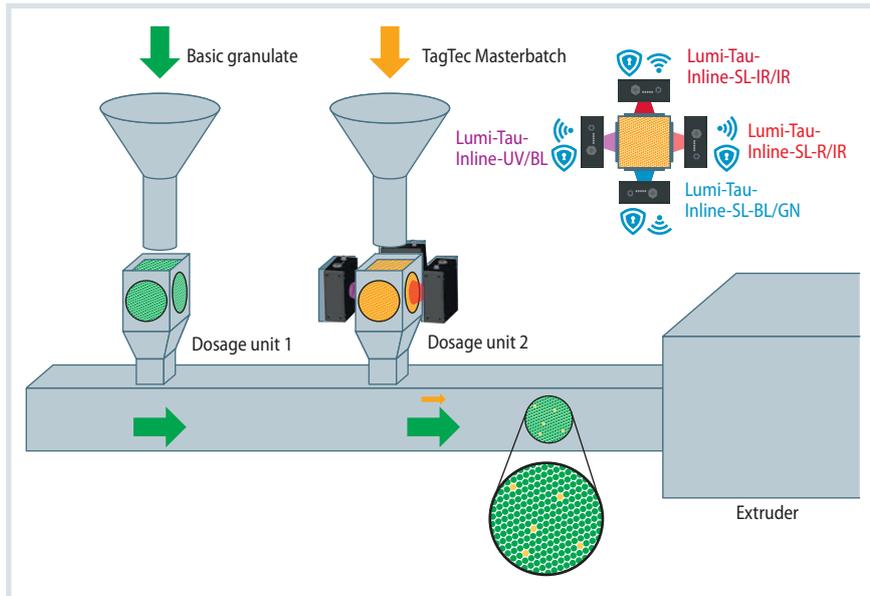


Fig. 3. The masterbatches are added during the extrusion process as usual. Hereby, sensors ensure that the correct marker and the right quantity are involved. Source: Sensor Instruments; graphic: © Hanser

ser usado para detecção de material fechado, independentemente do local e da forma, e também para determinar a quantidade de material reciclado em um produto plástico.

A área de detecção individual (processo Star) abrange todas as palavras de marcadores específicos da aplicação que foram otimizadas em diferentes faixas de comprimento de onda para os sensores de código Star.

Além disso, por meio da tecnologia TagTec, é possível implementar vários aspectos funcionais adicionais. Isso inclui, por exemplo, a medição do estiramento ou do desgaste do material, o monitoramento da dosagem em correlação com a aditivação especial de um plástico e o projeto de diferentes aplicações de medição, controle e montagem. Além disso, um sistema de depósito pode ser implementado de diferentes maneiras.

Os masterbatches TagTec também permitem a realização de funções individuais ou a combinação de diferentes funções. Isso é possível porque diferentes sistemas de marcadores podem ser combinados. Eles não influenciam negativamente uns aos outros.

Todas as versões de marcadores usadas são invisíveis ao olho humano, não têm sabor nem odor, consistem em partículas inorgânicas inertes, são resistentes a altas temperaturas, ao cisalhamento e aos raios UV e não influenciam a qualidade e a mecânica de um componente. Consequentemente, não há ação para que não sejam ampla-

mente utilizados no processamento de plásticos.

Os masterbatches TagTec também podem ser produzidos como masterbatches combinados com corantes e aditivos. Em muitos casos, e especialmente para a reciclagem de plásticos, isso oferece um valor agregado significativo, pois os corantes e aditivos são introduzidos, no máximo, durante o processo de composição subsequente.

Além do tipo de material e da quantidade de reciclado contido em um produto produzido no segundo loop, no futuro isso também permitirá, por exemplo, detectar a quantidade de estabilizador adicionado durante a preparação do material. Particularmente em termos de qualidade do material em futuros círculos de reciclagem, esse é um aspecto importante.

Basicamente, o uso de um masterbatch é o seguinte: o primeiro ciclo de vida de uma embalagem plástica começa, por exemplo, com um polímero virgem mais um masterbatch TagTec correspondente, que foi selecionado para se adequar à respectiva área de aplicação. Por meio das unidades de dosagem, ele é agora é

possível determinar a concentração do marcador na embalagem. Sensores correspondentes verificam se o marcador está correto e tem a concentração certa (Fig. 3). Após a operação de extrusão subsequente, as partículas do marcador estão presentes em posições aleatórias na matriz plástica. Por meio do sistema de câmera Star, um código individual é detectado para cada embalagem de plástico. Uma área de 10 x 10 mm em uma posição previamente definida na embalagem é então iluminada com luz do comprimento de onda de estimulação correspondente, fazendo com que as partículas marcadoras fiquem fluorescentes, exibindo assim um "padrão de estrela" individual. Em seguida, o sistema armazena a constelação das partículas luminosas para cada tipo de embalagem em formato codificado (Fig. 4).

Monitoramento da cadeia de suprimentos com blockchain

A tecnologia Tau permite verificar se foi usado o marcador correto na concentração correspondente para o respectivo grupo de produtos. Os dados podem ser transferidos para o software de monitoramento da cadeia de suprimentos em formato codificado. Se necessário, a tecnologia blockchain pode ser usada para rastrear o grupo de produtos durante todo o seu ciclo de vida. Como resultado, o monitoramento por meio de equipamentos em linha ou móveis é possível em diferentes pontos da cadeia de suprimentos. Dessa forma, as unidades Tau podem ser usadas para monitorar o código do grupo, enquanto os dispositivos Star determinam o código individual correspondente do respectivo objeto.

Após seu primeiro uso, a embalagem plástica geralmente chega à usina de reciclagem em um estado deformado. Aqui, o fluxo de produtos é pré-classificado com a ajuda de câmeras coloridas e NIR. Posteriormente, os detectores de Tau procuram objetos com

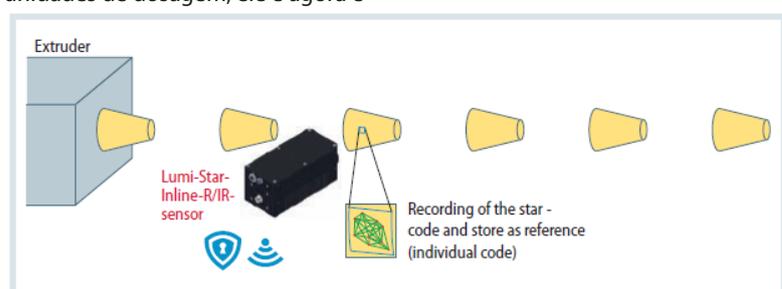


Fig. 4. The stored star pattern is specific for every packaging. Source: Sensor Instruments; graphic: © Hanser

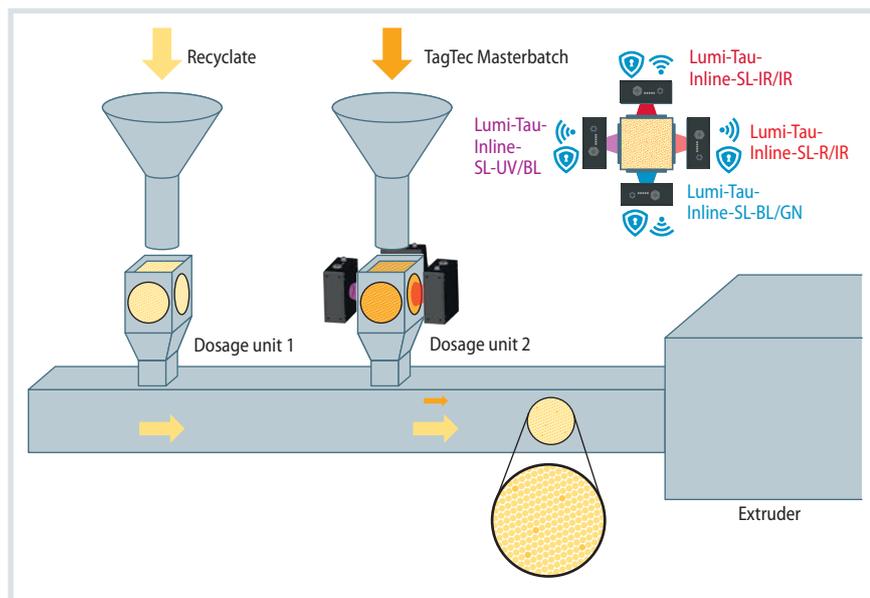


Fig. 5. When using recyclates, the masterbatch quantity is adapted to the concentration of TagTec markers contained in the recyclate, thereby ensuring that this is matched precisely to the manufactured product. Source: Sensor Instruments; graphic: © Hanser

marcadores TagTec. Dependendo do tipo de marcador detectado, os objetos correspondentes são classificados ou removidos do fluxo de produto restante. Após a trituração e também após a extrusão, a quantidade do respectivo material TagTec pode ser verificada com o leitor Tau.

Posteriormente, um segundo processo de produção pode ser iniciado, mas com material reciclado em vez de material virgem (Fig. 5).

Com a ajuda das duas unidades de dosagem, as quantidades de marcadores são então proporcionadas de acordo.

Os masterbatches TagTec e os sensores Tau correspondentes permitem que o uso do respectivo plástico seja monitorado em todas as seções do ciclo de vida do produto. A tecnologia também é adequada para objetos pequenos, como plástico

fios, fitas e tubos, bem como geometrias de componentes complexos, tecidos e materiais espumados. O uso de sensores Star permite uma definição mais detalhada de cada objeto individual. No entanto, isso requer a criação de um código de referência no objeto correspondente, com a subsequente transferência dos dados codificados para a nuvem.

Combinando o Marker e o HolyGrail

O uso de marcas d'água digitais da Iniciativa HolyGrail 2.0 exige o retrabalho do molde de injeção ou do rolo de impressão usado para produzir os respectivos objetos. Normalmente, os moldes de injeção são retrabalhados usando um processo de texturização a laser para gravar um código correspondente. Aqui

por, é um código individual referente ao molde, mas não ao respectivo objeto. Esse gasto não é necessário se forem usados marcadores. Devido aos diferentes procedimentos de aplicação e incorporação, bem como aos diferentes métodos de detecção, o método de marcadores TagTec também pode ser combinado com marcas d'água digitais. Como não são esperadas influências negativas mútuas, o ciclo de vida dos plásticos pode ser rastreado com ainda mais precisão. ■

Info

Text

Alexander Baumann is Head of Technical Service & Application at Gabriel Chemie; a.baumann@gabriel-chemie.com

Dr. Dominik Uhlich is CTO at Leuchtstoffwerk Breitung GmbH; dominik.uhlich@leuchtstoffwerk.com

Helmut Löw is managing director of Sensor Instruments Systemtechnik; hloew@si-systemtechnik.de

Walter Braumandl is managing director of Sensor Instruments; w.braumandl@sensorinstruments.de

Service

More information under:

www.sensorinstruments.de

www.leuchtstoffwerk.com

www.si-systemtechnik.de

www.gabriel-chemie.com

Digital Version

A PDF file of the article can be found at

www.kunststoffe-international.com/archive

German Version

Read the German version of the article in our magazine *Kunststoffe* or at www.kunststoffe.de

Kunststoffe international

The portal of the
plastics industry!

