

Nachhaltig härten



Quelle: Jana Cvorakova/EyeEm – stock.adobe.com

HÄRTUNGSTECHNIK // FLÜSSIGE BESCHICHTUNGEN DURCH ELEKTRONENBEHANDLUNG ZU HÄRTEN IST EINE ALTERNATIVE ZU KONVENTIONELLEN VERFAHREN WIE THERMISCHER TROCKNUNG ODER UV-HÄRTUNG. DAS HÄRTEN FUNKTIONIERT ROBOTERGESTEUERT.

Uwe Gohs, Asis

Die Anforderungen einer Oberflächenveredelung sind umfassend: Eliminieren des Anteils flüchtiger organischer Lösemittel (VOC), Materialrecycling, hoher Durchsatz, maximale Fertigungseffizienz, minimaler Energieverbrauch und eine materialsparende Fertigung. Diesen Herausforderungen müssen sich lackverarbeitende Unternehmen heute stellen. Gleichzeitig wird vom Endprodukt, der fertigen Beschichtung, höchste optische und funktionale Qualität erwartet.

Klassische Methode, um Beschichtungen zu trocknen, ist die thermische Trocknung. Leider geht dieses Verfahren einher mit hohen Energieverbräuchen sowie wartungs- und flächenintensiver Anlagentechnik. Steigende Energiepreise und wachsendes Umweltbewusstsein beschleunigen die Anwendung alternativer Verfahren, um flüssige Beschichtungen in eine feste und hochwertige Lackschicht zu überführen. Wir sind als Unternehmen spezialisiert im Bereich der Oberflächentechnik und bieten mit der Elektronenbehandlung eine Alternative zu konventionellen Verfahren. Diese Industrieanlagen bestehen aus kompakten Elektronenemittitern und einem produktspezifischen Transport-, Steuerungs- und Strahlenschutzsystem (siehe Abb. 1).

Multifunktional

Das Potenzial der Elektronenstrahlhärtung (ESH) zeigt sich darin, dass sie multifunktional zu verwenden ist. Die Elektronenbehandlung härtet nicht nur Beschichtungen, sondern aktiviert und funktionalisiert auch die Oberflächen von Kunststoffteilen vor einem Beschichtungs- oder Klebeprozess. Sie ist somit eine effiziente Alternative zum energie- und CO₂-intensiven Beflammen in der Lackiervorbereitung.

Auch unvollständig gehärtete SMC-Formteile (Sheet Moulding Compounds) lassen sich mit diesem Anlagentyp aushärten. Damit entfallen manuelle Nachbearbeitungsschritte wie Schleifen.

Bei Beschichtungen im Außenbereich ist ein hoher UV-Schutz erforderlich. Hier bietet die ESH einen energieoptimierten Lösungsansatz, weil UV-Stabilisatoren die ESH nicht beeinflussen.

Ausführliche Informationen zu weiteren Anwendungsbereichen sind Veröffentlichungen zu entnehmen [1]. Zusammenfassend ist die Elektronenbehandlung in der Lage, Werkstoffe in ihren grundlegenden Eigenschaften zu verbessern, ohne chemische Additive zuzugeben oder energieintensive Zwischenschritte auszuführen.

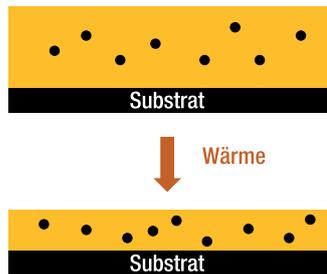
Strahlungstrocknung und -härtung

Flüssige Beschichtungen erfordern während der Überführung in eine feste Lackschicht



Abb. 1 // Beispielanlage zur robotergesteuerten ESH-Härtung.

thermische Trocknung
 Verdampfung des Lösemittels
 physikalisches Trocknen
 Mikro-Rauhigkeit



nichtthermische Härtung
 keine Verdampfung eines Lösemittels
 radikalische Polymerisation/Vernetzung
 minimale Filmschrumpfung

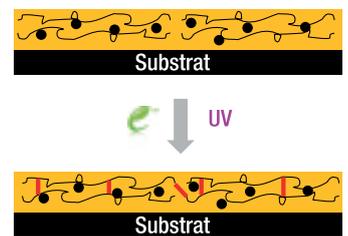


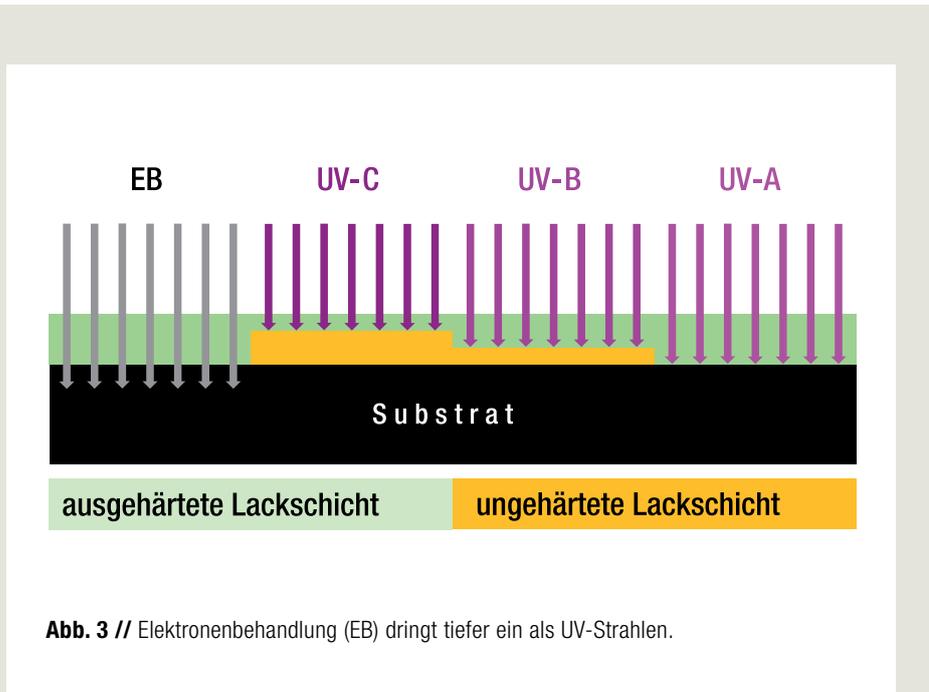
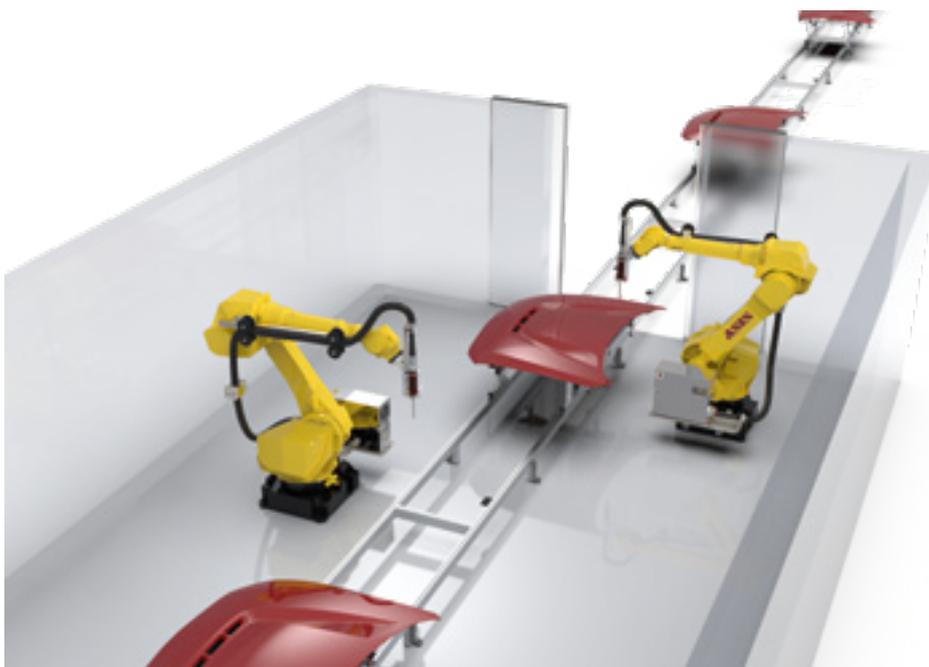
Abb. 2 // Vergleich von thermischer Trocknung und nichtthermischer Härtung.

Ergebnisse auf einen Blick

- Die Elektronenstrahlhärtung (ESH) verbessert die Eigenschaften von Beschichtungen bei geringem Energieverbrauch und ohne CO₂-Ausstoß.
- ESH ist besonders geeignet für die Härtung pigmentierter, hochgefüllter dicker Beschichtungen.
- ESH-Anlagen verursachen geringe laufende Kosten sowie Servicezeiten und liefern hohe Energieeffizienz, Oberflächenrate sowie Standzeiten.

Tab. 1 // Energieverbrauch und CO₂-Freisetzung für thermische Trocknung und ESH (50 kGy).

Parameter	thermisch	ESH
Feststoffgehalt der flüssigen Beschichtung	60 %	100 %
Masse der festen Beschichtung pro m ²	20 g	20 g
VOC pro m ² bei einer Lösemitteldichte von 0,9 g/cm ³	12 g	0 g
Energiebedarf	~0,091 kWh/m ² [2]	~0,028 kWh/m ²
CO ₂ -Freisetzung durch Lösemittelverbrennung	37 g/m ² [2]	0 g/m ²

**Abb. 3 //** Elektronenbehandlung (EB) dringt tiefer ein als UV-Strahlen.**Abb. 4 //** Robotergesteuerte ESH dreidimensionaler Formteile.

Energie, die entweder zum Verdampfen des Lösemittels oder Wassers oder zur Polymerisation und Vernetzung benötigt wird (Abb. 2). Die industrielle thermische Trocknung flüssiger Beschichtungen ist mit einem hohen Energieverlust verbunden. Abhilfe können hier z. B. die Strahlungstrocknung und -härtung schaffen, da diese einen zielgerichteten Energieeintrag in die flüssige Beschichtung ermöglichen.

Die Wellenlänge λ bestimmt nicht nur die Energie der Strahlung, sondern auch die Art der Wechselwirkung mit der flüssigen Beschichtung. Während elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen größer 800 nm die flüssige Beschichtung trocknet, kann elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen kleiner 400 nm chemische Reaktionen in der flüssigen Beschichtung initiieren und diese härten.

Das schnellste Verfahren, um eine flüssige Beschichtung in eine feste Lackschicht zu überführen, ist die Strahlenhärtung mit Wellenlängen kleiner 400 nm [2, 3]. Im Vergleich zur thermischen Trocknung bietet dieses nichtthermische Verfahren die Vorteile der lösemittelfreien Härtung und der sofortigen Weiterverarbeitbarkeit.

UV- und thermische Trocknung

Am Markt sind die UV-Härtung (UVH) und die Elektronenstrahlhärtung etabliert. Die ESH bietet im Vergleich zur UVH die nachfolgenden Vorteile:

- höhere Aushärtegrade, dadurch bessere Chemikalien- und Kratzbeständigkeit,
- höhere Produktgeschwindigkeit im Härtingsprozess,
- keine Beschränkung bezüglich Pigmentierung und Füllstoffen,
- kein Einsatz toxischer Photoinitiatoren,
- geringe Substraterwärmung,
- kontrollierte Härtung pigmentierter dicker Beschichtungen (Abb. 3).

Im Vergleich zum thermischen Verfahren lassen sich mit ESH der Energieverbrauch und die CO₂-Emission verringern, was beim Betreiber Kosten senken und Nachhaltigkeit erhöhen kann (Tab. 1). Die Vorteile sind:

- keine CO₂-Emissionen,
- keine VOC,
- geringer Energiebedarf,
- platzsparende Anlagentechnik,
- geringer Wartungsaufwand,
- sofortige Weiterverarbeitbarkeit.

Elektronenstrahlhärtung von Beschichtungen und Lacken

Im Gegensatz zur UV-Härtung benötigt die ESH keine toxischen Photoinitiatoren. Die Härtung (Polymerisation und Vernetzung) der

Beschichtung erfolgt durch niederenergetische Elektronen. Sie übertragen ihre Energie an alle Bestandteile, Atome und Moleküle, in der Beschichtung. Am Ende der Energieübertragung entstehen freie Radikale, welche die Polymerisation oder Vernetzung in Gang setzen. Diese Radikale ermöglichen, elektronenbehandelte Beschichtungen mit verbesserten Eigenschaften herzustellen: darunter chemische Eigenschaften wie Creme- und UV-Beständigkeit, mechanische wie Härte, Kratzbeständigkeit und Abriebfestigkeit sowie thermische Beständigkeit. (Tab. 2).

Zu den Anwendungen gehören:

- Härtung von Druckfarben (Flexodruck, Rollenoffsetdruck) auf Verpackungen [4],
- Härtung von Beschichtungen (z. B. Möbeldekor, Coil Coating [5]),
- Härtung von Beschichtungen auf Platten, Fassadenelementen, Türen für Außenanwendungen (ESH-Lacke besitzen eine hohe Beständigkeit im Außenbereich) [6],
- Härtung von Überdrucklacken für Lebensmittelverpackungen (sofort aushärtende, lösemittelfreie Alternative zur Laminierung bei gleichzeitiger Hitze-, Kratz- und Lösemittelbeständigkeit, geringer Migration, frei von Photoinitiatoren) [5],
- Härtung hochabriebfester Fußbodenbeläge (z. B. Industriefußboden, Fertigparkett) [7],
- Härtung von Lacken auf Deckschichtpapieren zur Herstellung von HPL (High-Pressure-Laminat) und CPL (Continuous-Pressure-Laminat) [4].

Lacke

Die am Markt etablierten Trocknungs- und Härtungsverfahren unterscheiden sich nicht in der generellen Zusammensetzung der Beschichtung, aber bezüglich Bindemittelart, Lösemittelanteil und Reaktionsgeschwindigkeit.

Die wesentlichen Bestandteile der zum Einsatz kommenden Lacke sind ungesättigte Oligomere (Bindemittel), ungesättigte Reaktivverdünner, die in das Netzwerk eingebunden werden, sowie Pigmente, Füllstoffe und Additive. Bei den am Markt verfügbaren 100 %-, Pulver- und Wasserlacken sind weitgehend keine organischen Lösemittel enthalten. Der Einsatz wasserbasierter Lacke verbessert die Viskositätseinstellung und die Spritzfähigkeit, erfordert jedoch einen zusätzlichen Trocknungsschritt, der mit einem zusätzlichen Energieverbrauch und längeren Applikationszeiten sowie reduzierten Filmeigenschaften verbunden ist.

Je nach Anwendung werden Polyesteracrylate (breiter Viskositätsbereich), Epoxyacrylate (hart, schnelle Härtung, hoher Glanz), Urethanacrylate (hart bis flexibel, aliphatisch, für Außenanwendungen) oder Amionacrylate (hohe Härtungsgeschwindigkeit) als Bindemittel verwendet.

Lackapplikation

Die Beschichtung dreidimensionaler Formteile mit niedrigviskosen festkörperreichen Lacken (High Solids) kann mit Verfahren wie dem elektrostatischen Spritzverfahren erfolgen. ESH-Lacke gehören zu den hochviskosen festkörperreichen Lacken. Die Lackapplikationstechnik muss daher modifiziert werden, um die Viskosität der ESH-Lacke anforderungsspezifisch zu senken. Dies kann beispielsweise erreicht werden, wenn der ESH-Lack in einem Durchlauferhitzer erwärmt oder in einer temperaturgesteuerten Spritzkabine appliziert wird. In Zusammenarbeit mit einem Lackhersteller lässt sich mit niederviskosen Bindemittelsystemen die Viskosität des ESH-Lacks anwendungsspezifisch verringern.

Voraussetzungen und Prozesssteuerung

Eine maßgeschneiderte Härtung der flüssigen Beschichtung ist durch die gezielte Wahl der Prozessparameter Beschleunigungsspannung,

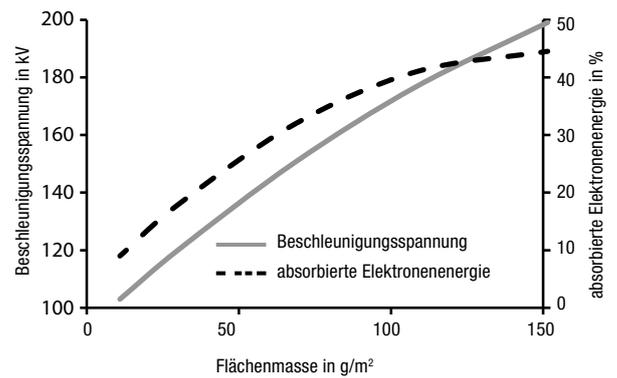


Abb. 5 // Beschleunigungsspannung und absorbierte Elektronenenergie als Funktion der Flächenmasse der zu härtenden Beschichtung.

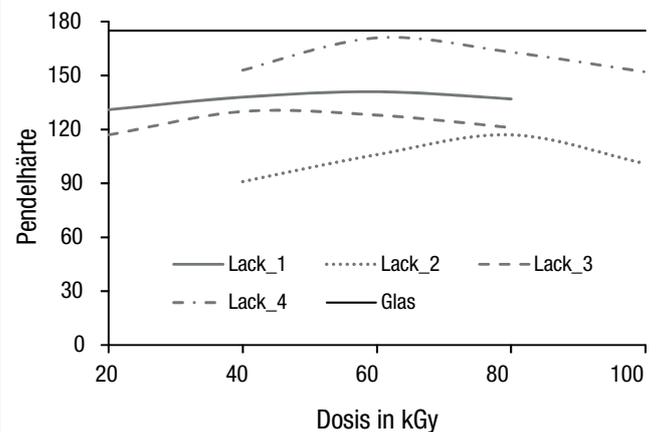


Abb. 6 // Pendelhärte als Funktion der Dosis für verschiedene Lacksysteme.

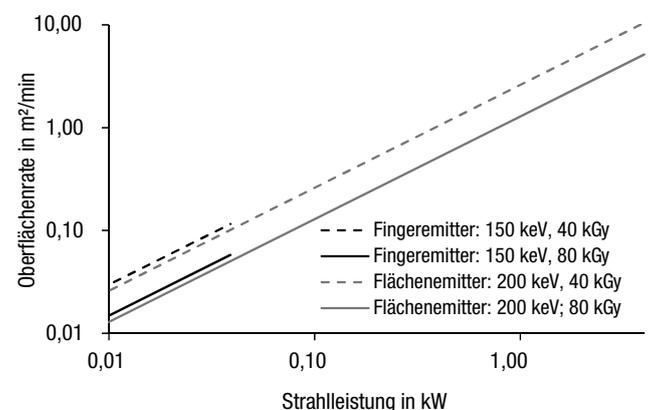


Abb. 7 // Oberflächenrate als Funktion der Strahlleistung für zwei verschiedene Elektronenemitter.

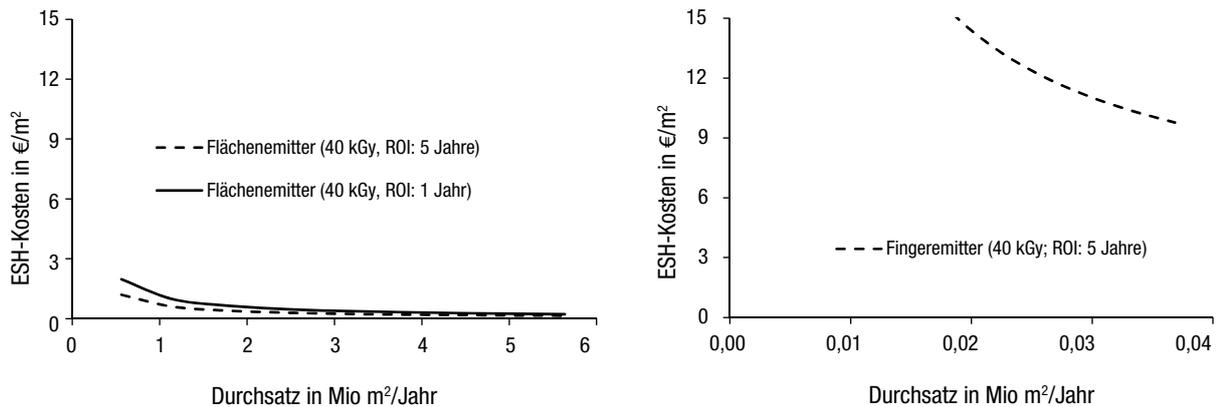


Abb. 8 // ESH-Kosten für die Härtung einer Beschichtung von 80 g/m² mit Flächen- (a) und Fingeremitter (b).

Strahlstrom, Dosis und Dosisleistung möglich. Diese hängen von der Beschichtungsdicke ab sowie von den Komponenten der zu härtenden Beschichtung (Oligomere, Monomere, Pigmente, Füllstoffe, Additive) und der chemischen Umgebung während der ESH.

Die Beschleunigungsspannung bestimmt den räumlichen Energieeintrag und wird an die Dicke der zu härtenden flüssigen Beschichtung angepasst. So wird die Erwärmung des Substrats und eine unerwünschte Substratschädigung minimiert. Der Anteil der in der Beschichtung absorbierten Elektronenenergie steigt mit der Flächendichte der Beschichtung (Abb. 5) und legt die ESH pigmentierter, hochgefüllter dicker Beschichtungen nahe.

Die Dosis (Einheit: Gy) charakterisiert die pro Masse absorbierte Energie und steuert die Anzahl der in der Beschichtung erzeugten Radikale, d. h. die Intensität der Polymerisation oder Vernetzung. Sie ist von der Verweilzeit der zu härtenden Beschichtung im Strahlenfeld des Elektronenemitters und dem Strahlstrom abhängig. Die für die Härtung erforderliche Dosis hängt von der Lackrezeptur ab und beträgt meist zwischen 40 kGy und 80 kGy (Abb. 6).

Die Dosisleistung während der ESH beschreibt die pro Zeit absorbierte Dosis und wird bei konstantem Abstand des Elektronenemitters zur härtenden Beschichtung durch den Strahlstrom gesteuert. Damit beeinflusst sie die Radikalerzeugungsrate und alle zeitabhängigen Prozesse während der ESH, darunter die Reaktionskinetik, sekundäre Reaktionen mit Luftsauerstoff und die Temperaturerhöhung in der Beschichtung. Da Sauerstoff die Härtung der flüssigen Beschichtung behindert, ist eine nahezu inerte Gasatmosphäre während der ESH erforderlich.

Die chemische Umgebung während der ESH umfasst vor allem den Restsauerstoffgehalt und die Temperatur. Eine ESH mit hoher Dosisleistung ermöglicht einen höheren Sauerstoffrestgehalt und eine höhere Wirtschaftlichkeit durch einen sinkenden Stickstoffverbrauch.

Robotergesteuerte ESH

Bei der Wechselwirkung beschleunigter Elektronen mit Materie entstehen Röntgen- und Bremsstrahlung. Diese muss durch eine entsprechende Abschirmung absorbiert werden. Somit be-

steht die ESH-Anlage für die Lackierlinie aus robotergesteuerten kompakten Elektronenemittern sowie einem produktspezifischen Transport-, Steuerungs- und Strahlenschutzsystem (Abb. 4). Die zum Einsatz kommenden kompakten Elektronenemitter sind Flächen- und Fingeremitter. Das für die Erzeugung freier Elektronen erforderliche Vakuumsystem wird in Strahlaustrittsrichtung durch ein dünnes Elektronenaustrittsfenster abgeschlossen. Die niederenergetischen Elektronen geben beim Verlassen des Vakuumsystems einen Teil ihrer kinetischen Energie im Elektronenaustrittsfenster ab und erwärmen dieses. In einer 11 µm dicken Titanfolie werden 10 % (bei 200 keV) bis 40 % (bei 100 keV) der Elektronenenergie absorbiert.

Zu hohe Betriebstemperaturen des Elektronenaustrittsfensters führen zur Ermüdung und letztendlich zum mechanischen Versagen der Titanfolie, sodass im Interesse langer Standzeiten die flächenspezifische Strahlleistung begrenzt ist. Das heißt, die maximale Strahlleistung eines Elektronenemitters wird durch die Fläche des Elektronenaustrittsfensters bestimmt. Somit besitzt ein Fingeremitter im Vergleich zum Flächenemitter eine signifikant geringere Strahlleistung und Oberflächenrate (gehärtete Beschichtungsfläche pro Zeit, Abb. 7). Das wirkt sich auch auf die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens aus (Abb. 8a, 8b). Effiziente Flächenemitter werden daher mit 3-D-fähigen Fingeremittern kombiniert, um einen effizienten Betrieb zu erreichen.

Energieverbrauch und CO₂-Emission

Der Energieverbrauch während der ESH ist von der Dosis und der Dicke der zu härtenden Beschichtung abhängig. Bei optimalen ESH-Parametern beträgt der dosispezifische Energieverbrauch für Beschichtungsdicken von 20 g/m² oder 80 g/m² 0,55 Wh/(kGy·m²) beziehungsweise 0,79 Wh/(kGy·m²).

Während der thermischen Trocknung einer Beschichtung mit einem Lösemittelgehalt von 40 % beträgt die CO₂-Emission pro Flächendichte getrockneter Beschichtung 1,85. Das entspricht einer CO₂-Emission von 37 g/m² bei einer Flächendichte der getrockneten Beschichtung von 20 g/m² (Tab. 1).

Tab. 2 // Vor- und Nachteile der ESH.

Vorteile	Nachteile
<p>erhöhte Filmeigenschaften (z. B. hohe Härte, hohe Kratzbeständigkeit, hohe Abriebfestigkeit, hohe thermische Beständigkeit, hohe Lösemittelbeständigkeit, hoher Glanz, geringer Schrumpf, keine Alterung durch UV-Licht)</p> <p>kaum Emission flüchtiger Stoffe (VOC)</p> <p>Niedrigtemperaturprozess</p> <p>stabile Verarbeitungszeiten</p> <p>drastische Senkung des Energieverbrauchs (um 70–80 %)</p> <p>geringerer Raumbedarf</p> <p>100%ige Recyclingfähigkeit (z. B. keine Veränderung des Oversprays)</p>	<p>kaum / keine Härtung im Schattenbereich</p> <p>erhöhte Kosten für Beschichtungsformulierungen (teure Rohstoffe, kleinere Volumen)</p> <p>strahlenhärtbare Oligomere können Hautreizungen und Geruchsbelästigung verursachen</p> <p>Arbeiten in Atmosphäre mit geringem Restsauerstoffgehalt</p> <p>höhere Investitionskosten</p> <p>zusätzliche Abschirmung gegen Röntgen- und Bremsstrahlung</p> <p>geringe Viskositätskontrolle und bedingte Spritzfähigkeit der Beschichtungsformulierungen</p>

Nach einem Jahr amortisiert

Eine neue Generation von kompakten und wartungsfreien Elektronenemittern zur Elektronenstrahlhärtung ist am Markt verfügbar. Ihre Bauform ermöglicht es, sie als Greifersystem (End-of-Arm Tooling) an einem Industrieroboter zur montieren. Dadurch lassen sich dreidimensionale Oberflächen erreichen, und die Technik ist in Produktionslinien integrierbar.

Verglichen mit dem thermischen Verfahren ist der Platzbedarf gering. ESH-Anlagen verursachen geringe Kosten und Servicezeiten und liefern hohe Energieeffizienz, Oberflächenrate (gehärtete Beschichtungsfläche pro Zeit) und Standzeiten.

Die ESH benötigt spezielle Lackformulierungen, eine Anpassung der Lackapplikationstechnik und eine inerte Atmosphäre. Die nichtthermische Härtungsmethode ist konventionellen Verfahren wie der thermischen Trocknung oder der UV-Härtung in großen Teilen überlegen. Sie erhöht die Schichteigenschaften, senkt den CO₂-Ausstoß und den Energieverbrauch.

Die Kosten der ESH inklusive Investitions-, Energie-, Stickstoff- und Wartungskosten sind kleiner als 0,35 Euro pro Quadratmeter, wenn die jährlich zu härtende Oberfläche dreidimensionaler Formteile mehr als vier Mio. Quadratmeter beträgt. Dann haben sich die Investitionskosten in einem Jahr amortisiert.

Literatur

- [1] Whitepaper, ASIS, <https://www.asis-gmbh.de/company/medien/whitepaper/>, abgerufen am 27.01.2022
- [2] Berejka, A. J., Electron beam curing of coil coatings. 2003 RadTech Report, September/October 2003, 47-53
- [3] Glöckner, P.; Jung, T.; Struck, S.; Studer, K., Radiation curing for coatings and printing inks, Vincentz Network, Hannover, Germany, 2008
- [4] Nablo, S. V.; Tripp, E. P., Electron curing for high speed paper, film and foil converting. Radiat. Phys. Chem. 1979, 14, 481
- [5] Koshiishi, K.; Tomosue, K.; Honma, N.; Sueda, E.; Masuhara, K., Application of low energy electron beam to precoated steel. 1990 RadTech Report, May/June 1990, 21-27
- [6] Twomey, B. J., Radiation cured coatings - some commercial successes. Phys. Chem. 1979, 14, 69
- [7] Holl, P., Two ideal applications for the low energy electron-beam accelerator: Vulcanization of pressure-sensitive adhesives and controlled through-curing of coatings on parquet. In: Radiation Physics and Chemistry 1995, 46 (4-6), 953-958

Kontakt // u.gohs@asis-gmbh.de

DR. UWE GOHS

Jahrgang 1957, studierte Physik an der Technischen Universität Dresden. Er besitzt langjährige praktische Erfahrungen und umfangreiche Kenntnisse im Bereich der Polymermodifizierung mit beschleunigten Elektronen. Seit dem Jahr 2020 ist er für Asis tätig.



Mehr zum Thema!



270 Ergebnisse für Härtung!
Jetzt testen: www.farbeundlack.de/360