

Schweißbarkeit von UV-gehärteten Folienbeschichtungen

Herstellung und Erprobung von UV-härtenden Versuchsformulierungen für PVC-Folien

Folien, Bahnen und gewebverstärkte Folienverbunde aus Weich-PVC werden häufig mit Decklacken versehen, die vor chemischen, mechanischen und Umwelteinflüssen schützen sollen. UV-Lacke scheiden für solche Anwendungen bisher aus, weil die dreidimensionale Vernetzung einer UV-Lackschicht die Weiterverarbeitung der PVC-Folien mittels thermischer Verbindungstechniken (Schweißen) nahezu unmöglich macht. Ein kürzlich abgeschlossenes Forschungsprojekt sollte dieses Problem durch UV-Lacke mit eingebauten Retro-Diels-Alder-Gruppen (RDA) lösen und schweißbare UV-Lacke bereitstellen.

VON DR. NORBERT PIETSCHMANN, SEBASTIAN BREHM

Diese Gruppen werden unter Wärmeeinwirkung gespalten und formieren sich beim Abkühlen neu. In der akademischen Forschung wurde dieses Prinzip bereits mehrfach beschrieben, was insbesondere auf Beschichtungen abzielte, welche unter Wärmeeinwirkung Selbstheilungseffekte (Verschwin-

den von Kratzern etc.) zeigen. Das Anliegen des hier vorgestellten Projektes bestand hingegen darin, den Vernetzungsgrad und damit die Barrierewirkung der Lackschicht durch Wärmeeinwirkung reversibel zu gestalten, damit den Widerspruch zwischen den duromeren Eigenschaften der Beschichtung und den für das Schweißen erforderlichen thermoplastischen Eigenschaften in der Fügezone aufzuheben und so die Schweißbarkeit von UV-lackierten Thermoplastfolien zu ermöglichen. Hierzu wurden am IPF Dresden Linker mit jeweils zwei acrylischen Doppelbindungen und einer bzw. zwei RDA-Einheiten synthetisiert (Abb. 1).

Am IPA wurden sowohl Referenzformulierungen ohne RDA-Linker als auch Versuchsformulierungen mit 20-30 Gew.-% Linker entwickelt und erprobt. Diese basierten, bis auf die Linker, auf kommerziellen Rohstoffen, insbesondere auf flexiblen, aliphatischen Urethanacrylaten, mono- und bifunktionellen Reaktivverdünnern, Fotoinitiatoren und einem silikonfreien Verlaufsadditiv. Abb. 2 zeigt eine idealisierte Darstellung des angestrebten, reversiblen Lösens

und Neuknüpfens von Bindungen im polymeren Netzwerk der UV-Lackschicht. Aufgrund der thermischen Verformung von dünneren Folien unter dem Quecksilberdampfstrahler wurden parallel auch UV-LED-härtende Formulierungen erprobt.

Übereinstimmend mit Literaturergebnissen zeigten die Versuchsformulierungen mit RDA-Linker Selbstheilungseffekte sowie endotherme DSC-Peaks in dem zu erwartenden Bereich (120 bis 180°C). Beim zweiten Aufheizen oder nach etwas höherer Temperaturbelastung gingen diese Effekte allerdings sehr stark zurück. Eine Schweißbarkeit war in keinem Falle gegeben. Das mechanische Verhalten der ausgehärteten Schichten (Härteanstieg und Versprödung infolge Wärmeeinwirkung) sowie die vorgenannten DSC-Ergebnisse wiesen auf thermische Nachvernetzungsreaktionen hin, welche das reversible Lösen und Neuverknüpfen der RDA-Bindungen stark einschränken. (mehr dazu in **BESSER LACKIEREN** 14/2024, S. 6).

Weitere Arbeiten

Weitere Variationen an den Formulierungen (einschließlich Einbeziehung eines neuen, bifunktionellen RDA-Linkers), den Aushärtungsbedingungen (z.B. Inertisierung) und den Temperaturregimes ergaben keine prinzipiellen Änderungen. Infrarotspektroskopische Ergebnisse deuteten – neben einem weitgehenden Verschwinden der Restanteile an nicht umgesetzten acrylischen Doppelbindungen – auch auf die Entstehung von OH-, NH- oder/und COOH-Gruppen hin, sodass von einem komplexeren thermischen Reaktionsverhalten ausgegangen werden muss.

Die am SKZ durchgeführte Variation der Schweißverfahren und -parameter zeigte aber auch, dass PVC-Folien, die mit den formulierten Lacken beschichtet wurden, grundsätzlich schweißbar sein können. Dies gilt sowohl für Lacke mit, als auch ohne RDA-Gruppen. Die Schweißbarkeit wird erreicht, wenn die thermischen

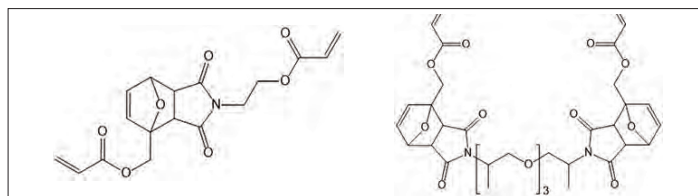


Abb. 1: Eingesetzte RDA-Linker mit einer (links) bzw. zwei (rechts) RDA-Einheiten. Grafiken: Leibniz IPF

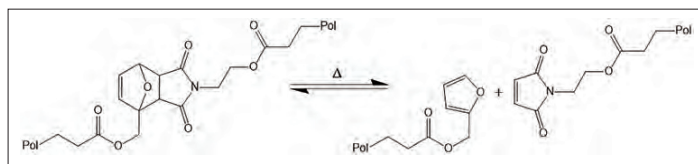


Abb. 2: Retro-Diels-Alder-Reaktion im Bereich eines im Polymernetzwerk eingebundenen Linkers mit einer RDA-Gruppe (schematisch)

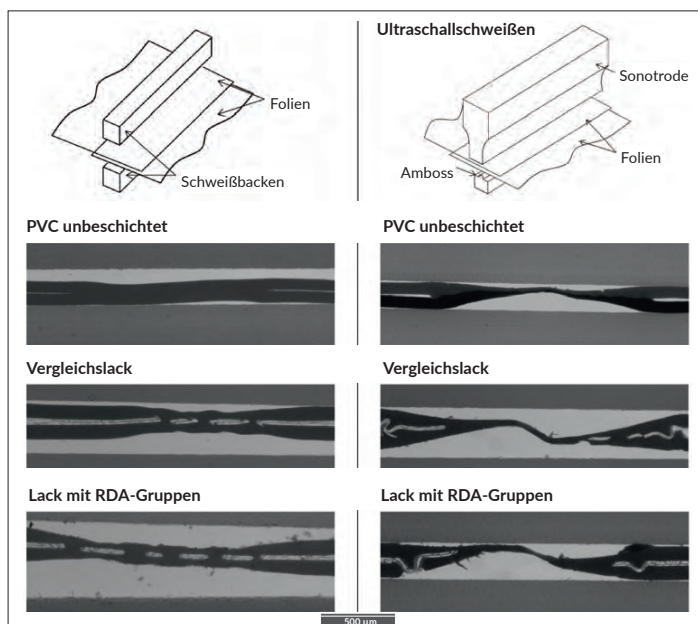


Abb. 3: Dünnschnitte von lackierten, verschweißten Folienproben (Anordnung: Lack auf Lack). PVC-Folie: dunkle Bereiche; UV-Lackschichten: helle, teilweise perforierte Bereiche in der Mitte (Beispiele). Bilder: SKZ

KURZZUSAMMENFASSUNG DES IGF-VORHABENS 22109 BG

Im Fokus: Schweißbare UV-Lacke für PVC- oder andere Thermoplast-Folien

Relevant für: Folienhersteller und -verarbeiter

Mit relevant für: Lack- und Lackrohstoffhersteller

Wichtige Rückschlüsse für Anwender: UV-gehärtete Beschichtungen verhindern das thermische Schweißen von Folien. Lackbestandteile mit RDA-Gruppen ergaben keine Problemlösung, aber evtl. könnten maßgeschneiderte Formulierungen zusammen mit angepassten Schweißverfahren künftig Abhilfe schaffen. Das IGF-Vorhaben 22109 BG „Schweißbare UV-Lacke mit reversibel lösbaren kovalenten Bindungen zur Anwendung auf PVC-Folien“ der Forschungsgesellschaft für Pigmente und Lacke e.V. (FPL) wurde über die AIF bzw. das DLR im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Ausführendes Forschungseinrichtungen waren neben dem Fraunhofer IPA Stuttgart auch das Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V. und das Kunststoffzentrum (SKZ) Würzburg. Das Vorhaben wurde von namhaften Kunststoff- bzw. Folien-, Lack- und Geräteherstellern begleitet. Der Dank gilt ferner O. Kobsch, P. Shamraienko, B. Voit (IPF), E. Kraus (SKZ) sowie A. Krug, R. Bürsner, M. Keuerleber und R. Nothelfer-Richter (IPA) für die fachliche Unterstützung und die gewissenhafte Durchführung und Auswertung der Untersuchungen.

und mechanischen Einwirkungen auf die Beschichtung deren teilweise Verdrängung bewirken, sodass an den „perforierten Stellen“ PVC mit PVC in Kontakt kommt (Abb. 3). Hierbei konnten im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen Verbindungsstabilitäten in Höhe von bis zu 73 % durch Wärmekontaktschweißen (WKS) und bis zu 47 % durch Ultraschallschweißverfahren (US), bezogen auf nicht beschichtete PVC-Folien, erreicht werden. Dies könnte der Ausgangspunkt für weitere FuE-Arbeiten zur Kombination von ausgewählten Schweißverfahren

und angepassten Parametern einerseits und maßgeschneiderten, UV-härtenden Lackformulierungen andererseits sein. Lackbestandteile mit Retro-Diels-Alder-Gruppen dürften dabei aufgrund des vergleichsweise hohen Aufwandes für die Synthese, die Reinigung und die Stabilisierung gegen vorzeitiges Gelieren allerdings keine Option mehr sein.

ZUM NETZWERKEN:
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart,

Dr. Michael Hilt,
Tel. +49 711 970 3820,
michael.hilt@ipa.fraunhofer.de;

Dr. Norbert Pietschmann,
Tel. +49 711 970 3831,
norbert.pietschmann@ipa.fraunhofer.de;

Dr. Eduard Kraus,
Tel. +49 931 4104 480,
e.kraus@skz.de;

www.ipa.fraunhofer.de/
beschichtung

Fraunhofer
IPA