Schweißbare UV-Lacke

Einführung

Die industrielle oder handwerkliche Verarbeitung von Folien und Bahnen auf Basis von Weich-PVC erfordert häufig thermische Schweißprozesse. Gleichzeitig besteht der Wunsch, diese Materialien bzw. darauf befindliche Farb- oder Dekorschichten mit UV-gehärteten Klarlacken zu schützen, da diese durch ihre hohe Vernetzungsdichte eine gute mechanische und chemische Beständigkeit aufweisen. Aus werkstofftechnischer Sicht stellt dies jedoch einen Zielkonflikt dar: Während thermoplastische Eigenschaften in der Fügezone für das Schweißen unerlässlich sind, verhindern die dreidimensional vernetzten UV-Lacke eben genau dies, so dass keine zuverlässige Schweißnahtbildung möglich ist. Im Rahmen eines IGF-Projektes wurde daher untersucht, ob durch die Integration thermisch reversibler Diels-Alder-Strukturen in die Lackmatrix eine Schweißbarkeit auch in Anwesenheit von UV-Decklacken erreicht werden kann. Ziel war es, die kovalenten Diels-Alder-Bindungen während des Schweißprozesses reversibel zu öffnen , um so eine temporäre Schweißbarkeit mit nachfolgender Rückvernetzung der Lackmatrix zu ermöglichen.

1. Konzeption und chemische Umsetzung

Die Umsetzung dieses Konzepts erforderte die Entwicklung spezieller UV-härtbarer Lackformulierungen, in denen sogenannte Retro-Diels-Alder-Linker (RDA-Linker) als reaktive Netzwerkbestandteile eingebaut wurden. Diese Linker, ausgestattet mit zwei acrylischen Funktionen zur Einbindung in das Polymernetzwerk sowie einer oder zwei Diels-Alder-Gruppen, wurden in mehreren Chargen am IPF Dresden synthetisiert und hinsichtlich ihrer Lagerstabilität und Verarbeitbarkeit optimiert. Die Formulierungsstrategie basierte auf der gezielten Kombination dieser Linker mit handelsüblichen Oligomeren, Reaktivverdünnern und Fotoinitiatoren. Als Substrate dienten praxisübliche PVC-Folien unterschiedlicher Dicke sowie Glasplatten zur analytischen Charakterisierung. Die UV-Härtung erfolgte sowohl mittels Quecksilberstrahler als auch mit UV-LED-Technik, wobei letztere besondere Anforderungen an die Auswahl der Rezepturbestandteile stellte. Die Rezepturen wurden hinsichtlich Aushärtung, Flexibilität, Kratzfestigkeit, Selbstheilungsfähigkeit und Schweißbarkeit untersucht.

2. Selbstheilung und thermische Nachvernetzung

Ein wesentliches technisches Merkmal der entwickelten Systeme war die bereits in der Literatur beschriebene Fähigkeit derartiger Materialien zur thermisch induzierten Selbstheilung mechanischer Defekte. Durch definierte Ritzungen auf Glasplatten und anschließendes Tempern bei 120 bis 180 °C konnte nachgewiesen werden, dass bei den meisten Formulierungen Kratzer nahezu vollständig verschwanden. Dieser Effekt ließ sich auf die Bindungsöffnung der Diels-Alder-Gruppen während der thermischen Belastung zurückführen, die ein temporäres „Glattfließen“ und eine anschließende Rückvernetzung der Matrix ermöglichen. Durch DSC-Analysen konnte ein charakteristischer, endothermer RDA-Peak im Bereich von 120 bis 170 °C detektiert werden, der beim ersten Aufheizen deutlich ausgeprägt war, beim zweiten Durchlauf jedoch nur noch schwach oder gar nicht

mehr nachweisbar erschien. Ergänzende IR-spektroskopische Untersuchungen belegten chemische Veränderungen im Zuge des Temperns, unter anderem das Verschwinden nicht umgesetzter, acrylischer C=C-Doppelbindungen sowie eine Zunahme von OH- oder/und NH-Gruppen. Dies zeigte, dass im Zuge der thermischen Behandlung neben der gewollten RDA-Reaktion auch unerwünschte Nebenreaktionen (u.a. unkontrollierte Nachvernetzung, verbunden mit Versprödung) auftraten.

3. Bewertung der Schweißbarkeit

Die zentrale Fragestellung des Projekts, ob durch den Einsatz von RDA-Linkern eine direkte Schweißbarkeit von mit UV-Lack beschichteten PVC-Folien erreicht werden kann, wurde in umfangreichen Untersuchungen adressiert. Versuche am SKZ Würzburg unter Variation von Schweißverfahren und Schweißparametern ergaben in mehreren Fällen eine partielle Lackverdrängung. Hierbei entstanden unmittelbare PVC-PVC-Kontaktzonen, die eine Verschweißung der Folien ermöglichten. Dabei wurden Verbindungsfestigkeiten von bis zu 73 % beim Wärmekontaktschweißen und bis zu 85 % beim Ultraschallschweißen erreicht, bezogen auf unbeschichtete Referenzfolien. Entscheidend für den Schweißerfolg war dabei ausschließlich die mechanische Disruption der Lackschicht während des Schweißprozesses. Unter praktischen Bedingungen bedeutet dies, dass eine Schweißbarkeit dann erreichbar ist, wenn die Lackschicht gezielt perforiert oder verdrängt wird, um den Kontakt von PVC mit PVC zu ermöglichen, unabhängig vom Vorhandensein oder Nichtvorhandensein von RDA-Komponenten.

4. Fazit und Ausblick

Trotz der sorgfältigen Synthese- und Formulierungsarbeiten konnte das Projektziel, eine durch thermisch reversible Diels-Alder-Linker vermittelte Schweißbarkeit, auf dem ursprünglich vorgesehenen Weg nicht erreicht werden. Die thermische Belastung im Zuge des Schweißprozesses führte zu einer irreversiblen Nachvernetzung, was Bindungsöffnung und -neuverknüpfung innerhalb der Lackmatrix wesentlich herabsetzte. Selbstheilungseffekte konnten hingegen, im Einklang mit Literaturdaten, in einzelnen Formulierungen nachgewiesen werden, waren jedoch auf einen einmaligen Zyklus beschränkt.

Die in mehreren Fällen erzielte Schweißbarkeit beschichteter Folien war ausschließlich auf eine mechanische Perforation der Lackschicht und die damit verbundene PVC-PVC-Kontaktierung zurückzuführen. Daraus ergibt sich die Schlussfolgerung, dass zwar die angestrebte Schweißbarkeit von UV-lackierten PVC-Folien mit dem eingesetzten RDA-Konzept nicht zuverlässig realisierbar ist. Außerdem stellen der hohe Aufwand für die RDA-Linker-Synthese sowie deren problematische Lagerstabilität zusätzliche Hindernisse für eine industrielle Umsetzung dar. Hingegen könnten alternative Ansätze zum Erreichen der Schweißbarkeit und damit für Fortsetzungsarbeiten in einer gegenseitig abgestimmten Anpassung von Schweißverfahren und UV-Lackrezepturen bestehen, um das Prinzip der Lackverdrängung zu optimieren.