

TI 15/18: Umgang mit Silikonen

Silikone (Polyorganosiloxane, SR) zeichnen sich durch hervorragende Chemikalien- und Witterungsbeständigkeit, hohe Temperatur- und Temperaturschockbeständigkeit und hohe Flammwidrigkeit aus. Sie sind hochelastisch und zu Reparaturzwecken einfach entfernbar. Die dielektrischen Eigenschaften sind über einen weiten Temperatur- und Frequenzbereich nahezu konstant. Bei der Aushärtung entstehen nur eine äußerst geringe Wärmeentwicklung und ein sehr geringer Schrumpfdruck.

Um Elektronik zuverlässig in einem Temperaturbereich von -50 °C bis > 180 °C gegen Feuchtigkeit und aggressive Medien zu schützen, sind Silikone die Produkte der Wahl.

Aufgrund vieler Missverständnisse ist das Thema Silikone gerade in der Automobilindustrie verpönt. Dabei sind gerade dort Silikone sehr weit verbreitet. Sie haben entscheidend dazu beigetragen, dass die Elektronik auch in den heißen Regionen des Motorraums Einzug halten konnte. Gerade im Motorraum, in dem Hitze und Feuchtigkeit, Öl und Treibstoffgase, Schmutz und Salz die widrigsten Verhältnisse schaffen, sind es Silikone, die aufgrund ihrer hohen Temperaturbeständigkeit sowohl im Tief- als auch im Hochtemperaturbereich den nötigen Schutz für die Elektronik bieten können.

Die Abneigung gegen Silikone ist in der Angst vor Kontaminationen begründet. Vor allem bei der Autoserienlackierung können niedermolekulare Silikone aufgrund ihrer niedrigen Oberflächenspannung zu massiven Benetzungsproblemen führen. Bei der Verwendung von Silikonen als Schutzüberzug für elektronische Komponenten ist diese Gefahr jedoch nicht gegeben, da der Einbau der Elektronik erst nach der Beschichtung erfolgt.

Bei der Verarbeitung von Silikonen neben silikonfreien Produkten sind jedoch Vorsichtsmaßnahmen zu ergreifen, um der Gefahr einer Silikonkontamination vorzubeugen.

Inhaltsverzeichnis

Vernetzungssysteme.....	2
Additionsvernetzende Silikone	3
Inhibierung der Aushärtung additionsvernetzender Silikone	3
Kondensationsvernetzende Silikone	3
Auswirkung der Abspaltprodukte von kondensationsvernetzenden Silikonen	3
Radikalische Polymerisationsvernetzung (UV-Vernetzung)	3
Verarbeitung von Silikonen neben silikonfreien Systemen	3
Silikonkontamination	4
Die Ursache einer Silikonkontamination	4
Checkliste für den Umgang mit Silikonen	5
Arbeitsgeräte	5
Produktionseinrichtungen.....	5
Räumlichkeiten	5
Mitarbeiter	5
Haftungsausschluss	6

Vernetzungssysteme

Bei den auf dem Markt angebotenen Silikonen gibt es folgende Unterschiede bezüglich der chemischen Vernetzung (auch Vulkanisation genannt):

- RTV-1 – raumtemperaturvernetzend, 1-komponentig
- RTV-2 – raumtemperaturvernetzend, 2-komponentig
- HTV – hochtemperaturvernetzend, 1-komponentig.

Betrachtet man den chemischen Mechanismus ist auch eine Differenzierung in:

- Additionsvernetzung
- Kondensationsvernetzung
- Radikalische Polymerisationsvernetzung (UV-Vernetzung)

möglich.

Bei den Silikonen vom Typ RTV-1, deren Aushärtung durch eine Reaktion mit Luftfeuchte abläuft, gibt es lösemittelhaltige und lösemittelfreie Lacksysteme. Bei der Reaktion entstehen spezifische Abspaltprodukte – daher auch die Benennung „kondensationsvernetzende“ Silikone. Je nach Kondensationsprodukt kann man diese wiederum unterteilen in saure, basische und neutrale Systeme. Während sich im Sanitärbereich beispielsweise die preiswerteren sauren – Essigsäure abspaltenden – Systeme eingebürgert haben, verbieten sich solche Produkte natürlich beim Einsatz auf der elektronischen Baugruppe. Hier finden die neutralen und basischen, d. h. Oxim oder Alkohol abspaltenden Systeme ihre Anwendung, wobei die Alkohol abspaltenden Systeme dominieren. Sie können vielfältig eingesetzt werden, jedoch nicht in gekapselten Anwendungen, da sie unter höheren Temperaturen Reversion – d. h. Umkehrung der Vernetzung – zeigen können.

Bei den additionsvernetzenden Silikonen gibt es 2-Komponenten-Systeme oder die sogenannten HTV-Silikone als 1-Komponenten-Systeme. Diese Silikone sind in der Regel alle lösemittelfrei und haben sich ebenfalls in elektronischen Anwendungen bewährt. Da diese Produkte zur Vernetzung einen speziellen Platinkatalysator benötigen, zeigen sie eine Empfindlichkeit gegenüber den Katalysator inhibierenden organischen Verbindungen, sogenannten Katalysatorgiften.

Die Verarbeitungszeit der 2-Komponenten-Systeme ist zeitlich begrenzt, da direkt nach dem Vermischen der Komponenten die Vulkanisation beginnt. Die Aushärtung ist stark von der Temperatur abhängig. Dauert die Aushärtung bei Raumtemperatur ca. einen Tag, so kann sie durch Temperaturerhöhung auf 150 °C auf wenige Minuten verkürzt werden. Eine grobe Abschätzung ermöglicht die Montsinger-Regel oder der Arrhenius-Ansatz, welche besagen, dass eine Temperaturerhöhung von 10 K die Aushärtezeit etwa halbiert.

Die 1-Komponenten-Silikone unterliegen keiner Topfzeitbeschränkung. Die Lagerung muss kühl bzw. unter Feuchteausschluss oder vor Licht geschützt erfolgen.

Bei additionsvernetzenden 1-Komponenten-Systemen beginnt die Vulkanisation erst bei höheren Temperaturen und ist nach relativ kurzer Zeit abgeschlossen.

Die Vulkanisationszeiten kondensationsvernetzender Silikone sind relativ lang (ca. 1 mm/Tag). Eine Beschleunigung durch Erhöhung der Temperatur ist nur im geringen Maß möglich.

Bezogen auf die vorgestellten Vernetzungsmechanismen kann man den Silikonen, die verbreitet in der Elektronik eingesetzt werden, einige grundlegende Eigenschaften zuordnen:

Additionsvernetzende Silikone

- keine flüchtigen Reaktionsprodukte
- kein Masseverlust
- chemischer Volumenschwund von $< 0,1$ % bei Raumtemperatur
- keine Reversion – Einsatz in gekapselten Baueinheiten möglich
- Störung der Vernetzung durch sogenannte Katalysatorgifte möglich (Inhibierung)

Inhibierung der Aushärtung additionsvernetzender Silikone

Fett, Feuchtigkeit und Kontamination der Oberfläche z. B. durch organische Zinnverbindungen, Schwefel und Schwefelverbindungen, Amide, Amine, Azide, Urethane können zu Fehlern bei der Aushärtung, wie z. B. Blasen und Fehlstellen, führen. Charakteristisch für derartige Kontaminationen ist flüssiges, nicht ausgehärtetes Material an der Grenzfläche zwischen Substrat und Silikon nach der Härtung. Verunreinigungen wirken sich auch negativ auf die Haftung aus, so dass sich Wasser zwischen Substrat und Silikon ablagern und so zu Korrosion/Ausfällen führen kann.

Eine gekapselte Härtung des Materials im Ofen hat den Vorteil, dass es vor flüchtigen Verunreinigungen aus dem Ofen geschützt ist, die u. U. auch inhibierend auf die Aushärtereaktion wirken können.

Kondensationsvernetzende Silikone

- das Kondensationsprodukt ist ein flüchtiger Alkohol oder ein Oxim
- bei der Vernetzung tritt ein geringer Masseverlust durch die flüchtige Verbindung auf
- chemischer Volumenschwund von ca. $0,2$ – 2 % bei Raumtemperatur
- Reversion (Umkehrung der Vernetzung) bei höheren Temperaturen möglich
- Störung der Vernetzung nur durch mangelnde Feuchte (Luftfeuchte)

Auswirkung der Abspaltprodukte von kondensationsvernetzenden Silikonen

Da das Kondensationsprodukt ein flüchtiger Alkohol oder ein Oxim ist, können Materialien z. B. Klebstoffe, in der direkten Umgebung oder einem gekapselten Gehäuse angegriffen werden. Die Auswirkungen können recht vielseitig sein und reichen von einer Trübung bis zur Zersetzung. Allerdings sind diese Kondensationsprodukte in einer sehr niedrigen Konzentration vorhanden, so dass es meist nicht zu einer Gefährdung anderer Materialien kommt.

Radikalische Polymerisationsvernetzung (UV-Vernetzung)

Bei UV-vernetzenden Silikonen ist wie auch bei anderen UV-Systemen eine Aushärtung in wenigen Sekunden möglich.

Verarbeitung von Silikonen neben silikonfreien Systemen

Bei gleichzeitiger Verwendung von silikonhaltigen und silikonfreien Produkten können bei der Verarbeitung der silikonfreien Produkte Störungen, z. B. Entnetzungen, auftreten.

Eine Silikonkontamination ist in den meisten Fällen durch manuelles Übertragen, verursacht durch Unachtsamkeit bzw. Unwissenheit, begründet. In nur seltenen Fällen wird eine Kontamination durch Aerosole, luftübertragene Verschmutzungen oder Kondensationsprodukte hervorgerufen.

Die wichtigste Regel bei der Verarbeitung von Silikonen lautet daher:

ALLES GETRENNT HALTEN

Silikonkontamination

Bezüglich der Kontamination mit Silikonen sind drei grundsätzlich unterschiedliche Möglichkeiten zu unterscheiden: Der direkte Kontakt durch Ausbluten und Spreiten, der direkte Kontakt über kontaminierte Arbeitsgeräte und die kontaktlose Kontamination über flüchtiges Silikon.

Kontaminationen über den direkten Kontakt lassen sich durch eine gute „Industriehygiene“, wie getrennte Arbeitsgeräte etc., sicher vermeiden (siehe hierzu auch „Checkliste für den Umgang mit Silikonen“). Eine offene Sprühapplikation ist risikobelastet.

Flüchtiges Silikon kann in Form von niedermolekularen Bestandteilen sowohl bei der Verarbeitung als auch nach der Härtung aus der Beschichtung entweichen, aus dem vernetzten Material jedoch um Größenordnungen weniger als aus noch flüssigem Material.

Diese Ausgasungen können sich auf Kontaktflächen, z. B. in Relais, Flexsteckern und Schaltkontakten, ablagern und eine saubere Kontaktierung verhindern. Bei einem möglichen Schaltfunken zersetzt sich das Silikonmolekül und es bildet sich ein Siliziumdioxidrest. So kann sich sogar eine isolierende Schicht bilden und der Kontakt dauerhaft unterbrochen werden.

Durch die Verwendung von hermetisch geschlossenen Relais vermeidet man solche Probleme. Die Lötbarkeit von vergoldeten Leiterplatten wird nur minimal beeinflusst. Sollten hier Probleme auftauchen, kann eine Vorreinigung Abhilfe schaffen.

Eine weitere Alternative kann der Einsatz von Silikonen mit sogenannter „Controlled Volatility“ sein. Die Ausgasung flüchtiger Komponenten ist hier – bei richtiger Verarbeitung – auf wenige ppm reduziert; dies ist allerdings mit deutlich höheren Materialkosten verbunden.

Zu berücksichtigen ist auch die Einbauart der beschichteten Baugruppe – im geschlossenen Gehäuse oder mit freiem Luftaustausch. Im letzteren Fall ist der Einsatz von Silikonen bereits über Jahrzehnte gegeben.

Die Ursache einer Silikonkontamination

Silikone besitzen aufgrund ihrer chemischen Struktur eine Oberflächenspannung, die niedriger ist, als die von rein kohlenstoff-organischen Verbindungen. Selbst kleinste Mengen sorgen auf einer Oberfläche dafür, dass der kontaminierte Bereich ebenfalls eine geringe Oberflächenspannung erhält. Eine Flüssigkeit kann aber den Untergrund nur benetzen, wenn sie eine geringere Oberflächenspannung als der Untergrund besitzt. Silikonkontaminierte Untergründe können daher von silikonfreien Materialien wie z. B. Schutzlacken nicht benetzt werden, da letztere eine höhere Oberflächenspannung haben.

Checkliste für den Umgang mit Silikonen

Halten Sie Arbeitsplatz/Arbeitsgeräte getrennt, um eine Berührung der verschiedenen Systeme, z. B. über verschmutzte Arbeitsgeräte, zu vermeiden. Die folgende Checkliste gibt Ihnen Anhaltspunkte, was dabei zu berücksichtigen ist.

Grundsatz: ALLES GETRENNT HALTEN

Arbeitsgeräte

Bei der Verarbeitung sind Arbeitsgeräte aus Edelstahl und, falls erforderlich, teflonbeschichtete Schläuche besonders zu empfehlen.

Gerätschaften eindeutig markieren, die für Silikone genutzt werden. In der Praxis hat sich eine Farbmarkierung mit auffälligem Klebeband bewährt. Zu den Gerätschaften zählen unter anderem:

- Spatel
- Messgeräte wie Thermometer, Auslaufbecher, Waage, Pipetten, usw.
- Schutzausrüstung / Arbeitskleidung wie Handschuhe usw.
- Becher, Trichter, usw.
- Reinigungslappen (gesonderter Behälter)
- evtl. Werkzeuge, die für Wartungsarbeiten genutzt werden
- Reinigungsbecken für Arbeitsgeräte
- Abfallbehälter

Produktionseinrichtungen

- separate Tauchbecken
- separate Öfen / UV-Härtungsanlagen (hierbei sollte auch eine getrennte Absaugung vorhanden sein, um einen Zugangsweg von Silikonen in andere Produktionsbereiche und umgekehrt zu versperren)
- separate Tauchvorrichtungen
- separate Aufhängungen für Baugruppen
- Kennzeichnung der Produktbehälter (Lack + Reiniger)
- separate Reinigung von Anlagenequipment

Räumlichkeiten

- separater Lagerplatz für Silikone und benutztes Reinigungsmittel
- separater Lagerplatz für beschichtete Baugruppen (so dass bei Beschädigung des Lackfilms keine Silikonbestandteile in andere Produktionsbereiche verschleppt werden.)
- nach Möglichkeit separater Arbeitsplatz wie z. B. Waage
- separate Waschgelegenheiten

Mitarbeiter

- Information / Sensibilisierung hinsichtlich der Gefahr bei Verschleppung von Silikonen
- allgemeine Arbeitshygiene (Hände waschen, ggf. Handschuhe)
- evtl. eingeschränktes Zugangsrecht

Haftungsausschluss

Beschreibungen und Ablichtungen unserer Ware und Produkte in technischen Unterlagen, Katalogen, Prospekten, Rundschreiben, Anzeigen, Preislisten, Webseiten, Datenblättern, Informationsblättern, insbesondere die in dieser Druckschrift genannten Informationen, sind unverbindlich soweit ihr Einbezug in den Vertrag nicht ausdrücklich vereinbart wurde. Das gilt auch in Bezug auf etwaige Schutzrechte Dritter.

Die Produkte sind ausschließlich für die im jeweiligen Merkblatt angegebenen Anwendungen vorgesehen. Sie befreien den Kunden nicht von eigenen Prüfungen insbesondere im Hinblick auf ihre Eignung für die beabsichtigten Verfahren und Zwecke. Anwendung, Verwendung und Verarbeitung unserer Produkte und der aufgrund unserer anwendungstechnischen Beratung von Ihnen hergestellten Produkte erfolgen außerhalb unserer Kontrollmöglichkeiten und liegen daher ausschließlich in Ihrem Verantwortungsbereich. Der Verkauf unserer Produkte erfolgt nach Maßgabe unserer jeweils aktuellen Allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen.

Haben Sie noch Fragen?

Wir beraten Sie gerne und helfen Ihnen bei der Lösung Ihrer Probleme. Auf Anfrage senden wir Ihnen Muster und Technische Druckschriften zu.

Lackwerke Peters GmbH & Co. KG
Hooghe Weg 13, 47906 Kempen, Deutschland

Internet: www.peters.de
E-Mail: peters@peters.de

Telefon +49 2152 2009-0
Telefax +49 2152 2009-70

peters
Coating Innovations
for Electronics