



Wir möchten Ihnen als Anwender von klebenden Elektroisierfolien mit dieser Informationsschrift einen kleinen Leitfaden an die Hand geben. Naturgemäß kann es sich hierbei um keine vollständige Aufzählung handeln. Bitte rufen Sie uns an, wenn Sie weitergehende Fragen haben.

Vom Kleben

Das Kleben wird bereits in der griechischen Mythologie erwähnt. Die Flügel von Ikarus hielt Bienenwachs zusammen bis er der Sonne zu nahe kam. Und in geschichtlicher Zeit verklebten die Sumerer mit Baumharz und Erdpech Holz und Gold zu dekorativem Schmuck. Bei Gutenbergs Bibel eineinhalb Jahrtausende später hielt Kasein und Fischleim Papier und Leder zusammen. Und heute kleben wir mit Hotmelt Möbel und befestigen mit Kleister Tapeten an der Wand.

Kleben ist also eine sehr alte Fügetechnik. Lange Zeit wußte niemand wirklich zu erklären, warum Klebstoff überhaupt klebt. Erst vor etwa 130 Jahren machten sich Chemiker und Physiker daran, diesem Phänomen auf die Spur zu kommen.

Anlaß dafür war der Beginn der industriellen Fertigung, der zu einer massenhaften Herstellung von Gütern führte. Und diese erforderten eine immer kostengünstigere und einfache Möglichkeit der Verpackung. Stärker klebende und schneller zu verarbeitenden Klebstoffen wurden benötigt.

Die wichtigste Aufgabe für Konstruktions-Klebstoffe ist es, zwei Teile - Substrate genannt - zu verbinden.

Dabei sind die so genannten „van-der-Waals Kräfte“ einer der Hauptgründe für die Verklebung von Oberflächen miteinander. Sie beschreiben im Prinzip die Anziehungskräfte, die Moleküle aufeinander ausüben. Allerdings wirken diese Kräfte nur auf extrem kurze Distanzen (ca. 0,5 nm).

Daher haften selbst polierte Oberflächen nicht aneinander, denn unter dem Mikroskop haben sie eine raue, zerklüftete Oberfläche. Sie berühren sich nur an einigen wenigen Punkten. Hier setzt der Klebstoff an. Er füllt die Hohlräume zwischen den beiden Klebepartnern aus, bringt sie sozusagen näher zueinander. Dadurch können die van-der-Waals Kräfte wirken. Diese Fä-

higkeit, sich an Oberflächen anzuhaften, nennt man Adhäsion.

Mit diesem Wissen lässt sich auch besser verstehen, warum Druck beim Verkleben die Haftung verbessert: Durch den Druck verringern sich die Abstände zwischen den Molekülen des Klebstoffes und der Oberfläche. Die für die Verklebung notwendigen Bindungskräfte werden erhöht. Außerdem hat der Klebstoff die Möglichkeit, in Unebenheiten der beklebten Oberfläche "einzufließen".

Doch Adhäsion (z.B. Honig) alleine ermöglicht noch nicht eine stabile Klebeverbindung. Es muss die innere Festigkeit des Klebers hinzukommen, damit die Substrate dauerhaft miteinander verbunden werden können. Diese Eigenschaft wird als Kohäsion (z.B. Sekundenkleber, der glashart wird) bezeichnet.

Eine optimale Kombination aus Adhäsion und Kohäsion sind solche Kleber, die zunächst flüssig (Adhäsion, Benetzung der Oberfläche) und dann durch Trocknung oder chemische Reaktion fest (Kohäsion, innere Festigkeit) werden.

Klebstoffe bestehen im Prinzip aus Kettenmolekülen, die sich ähnlich einem Reißverschluss mit der Oberfläche der Substrate verhaken. Auch die anderen Eigenschaften wie Elastizität und Festigkeit rühren von diesem Aufbau her. Die miteinander verbundenen Kettenmoleküle ergeben ein elastisches und festes Netz.

Ganz am Anfang der meisten Kleber stehen die so genannten Monomere (mono=ein; meros = Teilchen) oder Präpolymere. Diese werden durch chemische Reaktionen zu Polymeren (poly=viele) verbunden. Dadurch steigt die Kohäsion des Klebstoffes erheblich an.

Klebstoffe auf Klebebändern unterscheiden sich von den aushärtenden Klebstoffen (Konstruktionskleber, Reaktionskleber) dadurch, dass sie permanent haften. Auch nach Jahren sollen Klebebänder, von der Rolle abgezogen und aufgeklebt, auf der gewünschten Oberfläche haften. (Das dies am besten mit Druck geschieht, beschreibt die englische Bezeichnung PSA = pressure sensitive Adhesive; druckempfindlicher Kleber). Damit Klebstoff von Klebebändern auch nach Jahren noch funktioniert, muss er dauerhaft die Fähigkeit haben, in die Oberflächerauhigkeit von Substraten einzufließen. Die Adhäsion (zur Erinnerung: z.B. Honig) muss also gewährleistet sein.



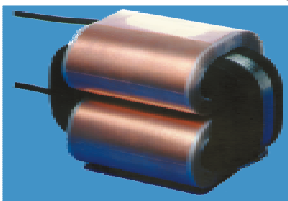
Deshalb darf der Kleber keine zu große innere Festigkeit (Kohäsion) aufweisen, da er dann einem festen Stoff gleichen würde.

Klebstoff für Klebebänder stellt also immer ein Kompromiss dar, da er zwei gegensätzliche Bedingungen erfüllen müssen - und erreicht deshalb nicht die Endfestigkeit von Konstruktionsklebers wie z.B. Zweikomponenten-Kleber.

Kleben als Fügetechnik bietet unter anderem folgend Vorteile:

Der Klebstoff stellt eine stoffbündige Verbindung her. Es kommt nicht wie beim Schrauben oder Nieten zu mechanischen Spitzen. Die Belastung der Verbindung wird auf eine größere Fläche verteilt. Auch kann Klebstoff aufgrund seiner elastischen Eigenschaften (z.B. doppelseitige Klebebänder) mechanische Spannungen aufgrund unterschiedlicher Ausdehnungskoeffizienten reduzieren. Eine weitere Fügetechnik, das Schweißen, belastet die Fügepartner erheblich durch die Temperaturen, die beim Schweißen entstehen. Verklebungen werden dagegen meist bei Raumtemperatur oder nur leicht erhöhter Temperatur ausgeführt. Gleichzeitig kann der Klebstoff auch als Dichtung dienen.

In diesem Artikel sollen vorzugsweise die Klebebänder betrachtet werden, die in der Elektrotechnik Einsatz finden (IEC 60454; Einteilung in Wärmeklassen). Der Kleber soll dabei meist die Isolationsfolie auf der z.B. Wicklung einer Spule befestigen.



Die sinnvolle Lösung einer Isolationsaufgabe in der Elektrotechnik setzt voraus, die grundlegenden Eigenschaften der üblichen Isolationsfolie zu kennen. Daher im Folgenden eine (unvollständige) Übersicht:

1 Elektroisierfolien und -bänder

1.1 Polyvinylchlorid-Folie (PVC) Acetatseide, Krepppapier

Für einfache Isolationsaufgaben mit geringem Anspruch an die Temperaturfestigkeit setzt man häufig PVC-Weichfolie ein, die sich dank ihrer

Geschmeidigkeit gut an die zu isolierende Oberfläche anschmiegt. Günstig ist auch die gute UV-Beständigkeit, was einen Einsatz auch im Außenbereich ermöglicht.

Allerdings ist die Temperaturfestigkeit selbst bei gefüllten PVC-Bändern selten höher als ca. 90°C, weswegen PVC häufig eher als z.B. Kabelisolation eingesetzt wird ohne hohe Temperaturbelastung. Da das Material dehnbar ist, kann die Spannungsfestigkeit ggf. deutlich sinken.

bei Brand entsteht durch die Abbauprodukte Salzsäure, die in Gebäuden zu erheblichen Schäden führen kann. Dank der sehr günstigen allgemeinen Eigenschaften und des günstigen Preises wird PVC trotz bereits seit langem bestehenden Vorbehalten weiterhin eingesetzt.

Eine weitere günstige Alternative sind Acetatseide-Gewebebänder, einsetzbar bis 120°C. Dank der guten Bedruckbarkeit sind sie ideal als Abschlussbandagen mit Aufdruck.

Für einfache Befestigungsaufgaben während der Montage eignet sich Krepppapier. Dank der speziellen Struktur legt es sich gut über Unebenheiten. Nachträglich mit Tränkharz verfestigte Baugruppen (z.B. Feldspulen von Elektromotoren) können so montagefreundlich vorbereitet werden. Auch sind speziell beschichtete Krepppapier-Klebebänder als Abdeckung bei Pulverbeschichtungen geeignet.

1.2. Polyesterfolie (PETF)

Für den Einsatz bei bis zu 130°C Dauertemperatur (Klasse B Material) setzt man die günstige Standardfolie „Polyester“ ein. Diese Folie ist chemisch und physikalisch mit sehr guten Eigenschaften ausgerüstet und bietet bereits bei einer Stärke von 23µm Isolationsfestigkeiten von 5000Veff. Die Folie wird aufgrund des hervorragenden Preis/Leistungsverhältnisses in den meisten heute üblichen Isolationsanwendungen wie z.B. Zwischenlagen in Transformatorspulen eingesetzt.

Ausgerüstet mit unterschiedlichen Klebern können diese Folien dank ihrer chemischen Beständigkeit auch gut in Verbindung mit Tränkharzen eingesetzt werden.

Polyester ist sehr alterungsbeständig und reißfest. Für Kennzeichnungsaufgaben ist es bedruckbar.



Viele verschiedene Farben sind durch Einfärben des Klebers möglich.

Durch die langsame Versprödung der Folie unter UV-Lichteinfluß ist ein Außeneinsatz jedoch nur in beschränktem Maße möglich.

1.3 Polyethylenaphtalat (PEN)

Polyesterfolien mit modifiziertem chemischem Aufbau. Diese Folie hat eine erheblich verbesserte Wärmebeständigkeit und kann als Klasse-F Material bis zu 155°C Dauereinsatztemperatur in Motoren oder Transformatoren eingesetzt werden. Außerdem schrumpft die Folie bei Temperaturbelastung nur halb so stark wie herkömmliche PETF-Folie und hat eine wesentlich bessere Chemikalienbeständigkeit. Die Folie hat allerdings auch einen merklich höheren Preis.

1.4 Polyimidfolie (Kapton®)

Diese brauntransparente Folie vereinigt hervorragende Eigenschaften in sich. So ist Kapton in einem Bereich von ~ -269°C bis 400°C einsetzbar (Temperaturklasse H = 180°C Dauereinsatz und mehr). Die Folie ist schwer entflammbar und selbstverlöschend (UL 94 V0).

Die vorteilhaften Eigenschaften sind über den gesamten Temperaturbereich weitgehend gleichbleibend.

So ist Kapton® in der Elektroindustrie besonders als platzsparende Isolierung mit hoher Durchschlagsfestigkeit (~ 10KV_{eff} bei 50µ Folienstärke) im Einsatz. In Verbindung mit einem Hochleistungskleber (Polysiloxan) ist ein Einsatz weit über 200°C möglich. Kapton ermöglicht Isolationssysteme für höchste Ansprüche in der Wärmeklasse H (180°C Dauertemperatur).

®Nomex und Kapton sind eingetragene Warenzeichen der Fa. Du Pont



Bild1 Beispiel für Einsatz von Isolationsfolien

Durch die hohe mechanische Stabilität auch bei sehr hohen (z.B. Störfall-) Temperaturen und die gleich bleibend gute Spannungsfestigkeit kann mit Kaptonisolationen eine sehr hohe Energiedichte realisiert werden. Damit sind kleiner Bauformen als mit anderen Isolationsstoffen möglich.

Varianten von Kapton sind z.B. wärmeleitend oder Corona-beständig. Zu Polyimidfolie von Du Pont gibt es erst sein wenigen Jahren Alternativen.

1.5 Polyamid-Papier (Nomex®)

Dieses Material vereinigt ähnliche Eigenschaften in sich wie Kapton. Ein wesentlicher Unterschied ist der Herstellungsprozeß.

Nomex wird ähnlich wie bei der Papierherstellung aus langen Fasern durch Verfilzung hergestellt. Die unkalandrierte Form ist relativ locker und damit sehr gut tränkbar mit Tränkharzen. Das verdichtete, kalandrierte Nomex ist ähnlich einer Folie als Isolierung einsetzbar.

Dank der guten Polsterwirkung findet man Nomex häufig als Nutauskleidung im Elektromaschinenbau.

Die hohe Temperaturfestigkeit (Temperaturklasse H = 180°C Dauereinsatz und mehr) in Verbindung mit gleichbleibenden mechanischen und elektrischen Werten prädestiniert das Material auch für Stabankerumhüllungen im Traktionsmaschinenbau.

Beständig gegen Harze, Trafoöle und eine Vielzahl weiterer Substanzen, die Einsatz finden in der Elektrotechnik, ist Nomex aufgrund seines deutlich geringeren Preises eine sehr gute Alternative zu Kapton. Allerdings ist die Durchschlagsfestigkeit aufgrund der Ähnlichkeit mit Papier merklich geringer. Nomex wird aufgrund seiner Papierstruktur (Luftdurchlässigkeit), der Nicht-Entflammbarkeit und seiner hohen Temperaturbeständigkeit wegen auch als flammfeste Bekleidung bei Feuerwehren eingesetzt.

1.6 Polyestervlies

Dieses Material wird durch Verfilzung von Polyesterfasern hergestellt und ist ähnlich dem Nomexpapier sehr aufnahmefähig für Tränkmittel. Ist das Material z.B. mit Kleber nur streifenbeschichtet, kann das Tränkmittel sehr gut durch das Vlies hindurchtreten und so einen innigen Verbund erzeugen.



In dieser Weise vorbehandelt, kann Polyestervlies mit dem richtigen Tränkmittel zusammen bis zur Isolationsklasse F=155°C eingesetzt werden.

Die Isolationswirkung ohne Tränkmittel ist gering.

1.7 Polytetrafluorethylen-Folie (PTFE, Teflon®)

Eine weiche, schmiegsame Folie, die je nach Foliendicke entweder als Giesfolie hergestellt wird oder durch Abschälen von einem massiven Materialblock.

PTFE ist extrem chemikalienfest und temperaturbeständig. PTFE besitzt auch eine hohe Coronafestigkeit, also eine gute Einsetzbarkeit bei Hochspannungsanwendungen.

Aufgrund der abweisenden Eigenschaften ist PTFE sehr gut da einsetzbar, wo es darauf ankommt, dass eine Oberfläche frei von anhaftenden Verschmutzungen bleibt (allgemein bekannt: Bratpfanne mit Teflonbeschichtung).

Häufig findet man Teflonfolie, ggf. mit Glasfasern verstärkt, als Gleitfolie (z.B. für den Anker in Zugmagneten). Hier verringert PTFE erheblich den Reibungswiderstand. Reines PTFE kann allerdings nicht unter permanentem Druck eingesetzt werden, da das Material dann zu fließen beginnt. Dies führt zu einer Verringerung der Spannungfestigkeit.

1.8 Glasgewebe

Obwohl keine Folie im klassischen Sinn, findet Glasgewebe als Klebeband häufig da Einsatz, wo Isolationsfolien nicht die ausreichende Reißfestigkeit mitbringen oder eine sehr hohe Reserve bei Übertemperatur notwendig ist. Glasgewebe hat zwar eine relativ geringe Isolationswirkung, kann aber z.B. beim Bündeln von Kabeln oder Leiterstäben im Großmotorenbau hervorragend als Montagehilfe eingesetzt werden. Außerdem ist Glasgewebe ähnlich der Acetatseide bedruckbar.

1.9 Metallfolien (Kupfer, Aluminium)

Diese Folien sind naturgemäß extrem temperaturfest. Sie werden jedoch in den seltensten Fällen ohne eine weitere Behandlung eingesetzt. Eine häufige Anwendung für mit Polyester isolierte Kupferfolie ist der statische Schirm in Si-

cherheitstransformatoren gemäß EN 61558. Seit Jahren steigt zudem der Anteil an isoliertem Flachkupferband, das als Stromwicklung eingesetzt wird. Vorteile sind eine bessere Stromtragfähigkeit, ein besseres Wärmemanagement und eine geringere Reaktanz.

Ganz allgemein wird klebende Kupferfolie als EMV-Schirm in der Elektrotechnik verwendet. Aluminiumfolie dient als Leitfolie, sei es zum Ableiten elektrostatischer Aufladung oder als Wärmeleiter. Auch als Wärmereflektor ist Aluminiumfolie einsetzbar.

2.0 Polypropylen-Folien mit Flammschutz

Günstige Isolationsfolie mit guter Temperaturbeständigkeit (bis 115°C). Durch den zusätzlichen Flammschutz wird eine hervorragende Selbstverlöschung erreicht.

Aufgrund der vielen verschiedenen verfügbaren Materialstärken kann die Folie besonders dazu eingesetzt werden, normgerecht eine ausreichend starke, flammwidrige Isolationsperre zwischen unter Betriebsspannung stehenden und geerdeten (z.B. Gehäuseteilen) Bauteilen zu bilden. Die ist insbesondere wichtig, wenn der Hersteller des Gerätes in den durch die UL Normen regulierten US-Markt liefern will.

2.1 Polyetherimid-Folien

Eine noch selten verwendete Isolationsfolie. Aufgrund der technischen Nachteile (in gewissen Lösemitteln löslich) und des relativ hohen Preises wird das Material selten als Isolationsfolie eingesetzt. Polyetherimid ist bis zu 180°C beständig.

Es sind noch eine Vielzahl weiterer Folien im Einsatz, die durch ihre speziellen Eigenschaften sich mehr als die hier aufgezählten Beispiele für bestimmte Aufgaben eignen. So z.B. solche aus EPDM, Polypropylen, Polyethylen (ab ca. 2µm Folienstärke für Kondensatoren verfügbar) und Polycarbonat.

2 LAMINATE

Meist werden die Elektroisolierfolien so verwendet, wie sie vom Hersteller geliefert werden. Auf der Suche nach immer leistungsfähigeren Materialien kam man bereits früh auf die Idee, Werkstoffe zu kombinieren. Diese Laminare vereinigen dann die



Summe der vorteilhaften Eigenschaften der Grundstoffe.

Hergestellt werden Lamine zumeist durch dauerhafte Verklebung mit einem vollständig abbindenden Kleber oder mittels Heißsiegelkleber.

2.1 Polyester/Krepp-Laminat

Die gute Polsterwirkung des Krepppapier vereinigt sich hier mit der hohen Reißfestigkeit und Durchschlagsfestigkeit des Polyesters. Eine gute Tränkmittelaufnahme durch das Papier verbessert die Aufnahme des Laminates in das Gesamtsolationssystem.

2.2 Polyester/Glasgewebe-Laminat

Reiß- und stoßfeste Bandagen mit guter Isolationswirkung sind bei dieser Kombination die Haupteinsatzgebiete. Der mechanische Schutz gegen Unebenheiten und Grate ist dank des Glasgewebes sehr gut.

2.3 Nomex/Glasgewebe-Laminat

Hohe mechanische Festigkeit in Verbindung mit einer sehr guten Isolationswirkung und Temperaturfestigkeit prädestinieren dieses Laminat für den Elektrogroßmaschinen- und Traktionsmaschinenbau.

Viele weitere Lamine mit unterschiedlichen Kombinationen der angesprochenen Folien sind im Einsatz. Es kommt auf den Einsatzfall an, welcher Kombination man den Vorzug gibt.

3 Folienklebebänder für die Elektroindustrie

Werden auch viele Folien als Isolation in der nichtklebenden Form eingesetzt, ist doch der Bedarf an klebend ausgerüsteten Bändern sehr bedeutend.

Im elektrotechnischen Bereich werden Klebebänder z.B. als Montagehilfe zum Bündeln und Abdecken benutzt. Zum Schutz vor mechanischen Verletzungen von Spulen werden Abschlußbandagen aus Glasgewebe oder Polyester eingesetzt. Gefiederte Bänder dienen als Zwischenlagenisolation in Transformatoren und polsternde Polyester/Krepp-Lamine schützen

vor scharfkantigen Lötstellen. Im Allgemeinen steht die sofortige Fixierung bei der Montage als Vorteil im Vordergrund.

Die Gründe für den Einsatz von Klebebändern sind also sehr vielfältig.

Genauso wie bei den Folien kommt es auch hier darauf an, das richtige Band mit dem richtigen Kleber zu wählen.

Die Kenntnis über den Mechanismus „Kleben“ hilft dem Anwender, unbefriedigende oder nicht funktionierende Ergebnisse zu vermeiden.

3.1 Grundlagen des Klebens

Klebstoff ist derjenige Bestandteil, der dem Klebeband nicht nur den Namen sondern auch die geforderten zusätzlichen Eigenschaften gibt.

Dabei gibt es mehrere verschiedene Ursachen für das Verkleben. Meist handelt es sich um eine Kombination mehrerer Einzelkräfte.

Allgemein bekannte Bedingungen für eine gute Verklebung sind:

- die Oberfläche des zu beklebenden Untergrundes muss fett- und staubfrei sowie trocken sein.
- starkes Andrücken beim Verkleben erhöht die Haftkraft.

Aber das erklärt noch nicht, warum ein „Verkleben“ stattfindet.

Wesentlich für die Verklebung zwischen zwei verschiedenen Materialien sind die molekularen Anziehungskräfte.

Da es in den häufigsten Fällen zu keiner chemischen Bindung kommt, sind atomare Bindungskräfte und oft in stärkerem Maße polare Anziehungskräfte maßgeblich. Ähnlich einem Magneten ziehen sich solche polaren Moleküle an und beeinflussen damit die Festigkeit der Verklebung. Ein Maß für die Polarität der Materialien ist die Oberflächenenergie. Besonders polare Oberflächen bezeichnet man auch als hochenergetische Oberflächen. Gemessen wird diese Benetzbarkeit in dyn/cm.

Auf hochenergetischen Untergründen hält also das Klebeband besser als auf niederenergetischen.

Energetisch unterschiedliche Flächen kann man sich beispielhaft anhand des Unterschiedes zwischen einem Wassertropfen auf gewachster und ungewachster Lackoberfläche klarmachen:

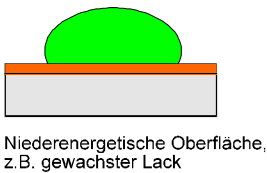
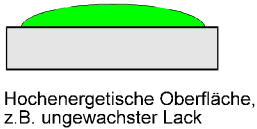


Bild 2 Oberflächenspannung

Der unbehandelte Lack ist hochenergetisch, wodurch die polaren Wassermoleküle stark angezogen werden: Der Wassertropfen verläuft breit und wird zur großflächigen Lache. Anders beim gewachsenen Lack: hier ist die Oberflächenenergie gering und dementsprechend die Bindungskraft zwischen Wassermolekül und Untergrund gering, der Wassertropfen bleibt klein, kugelig.

Aus dieser Darstellung leitet sich die Erkenntnis ab, dass Kleberdefinitionen abgestimmt sein müssen auf die Oberflächen, auf denen der Kleber später haften soll. Ein Kleber kann auf einer hoch-energetischen Oberfläche gut kleben, während er auf silikonisiertem Papier fast überhaupt nicht hält.

Beispiele für hochenergetische (polare) Kunststoffe sind:

- Polyvinylchlorid PVC (ca. 39 dyn/cm)
- Polycarbonat PC (ca. 46 dyn/cm)
- Polyurethane (ca. 43 dyn/cm)
- Polyimide. z.B. Kapton (ca. 41 dyn/cm)
- Polyester PET (ca. 41 dyn/cm)

Beispiele für niederenergetische (unpolare) Kunststoffe sind:

- Polypropylen PP (ca. 29 dyn/cm)
- Polytetrafluorethylen PTFE (ca. 18 dyn/cm)
- Silikone (ca. 24 dyn/cm)
- Polyethylen PE (ca. 31 dyn/cm)

Natürlich spielen noch weitere Faktoren beim Verkleben eine Rolle. So zum Beispiel das Verankern des Klebstoffes an Unregelmäßigkeiten oder die Haftvermittlung durch so genannte Primer (diese vermitteln als sehr dünne Schicht zwischen Oberfläche und Klebstoff). Kleber bestehen zudem in den meisten Fällen aus Mischungen von Polymergrundstoffen, Ölen und Harzen. Diese werden je nach Anwendungsfall gemischt und angepaßt.

Alle Bestandteile hier aufzuführen, die das Kleben beeinflussen, würde den Rahmen des Leitfadens sprengen.

3.2 Grundsätzliche Unterschiede bei den Klebstoffen

Klebstoffe verbinden Fügebauteile mittels Kohäsion (innerer Verbund des Klebstoffes) und Adhäsion (Flächenhaftung). Dabei überwiegt bei manchen Klebstoffen der Anteil der Kohäsion und umgekehrt. Zur Verdeutlichung der unterschiedlichen Einflüsse auf die Verklebung sollen folgende zwei Bilder dienen:

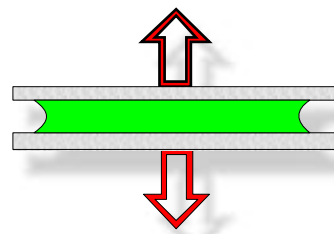


Bild 4 Adhäsion, hohe momentane Zugbelastbarkeit, gute Fließeigenschaften, aber geringe Scherfestigkeit (Kleber reißt auf)

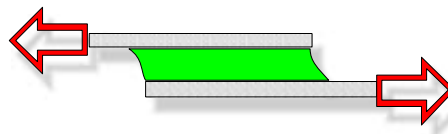


Bild 5 Kohäsion, große Scherfestigkeit, kein Kriechen oder Aufreißen des Klebstoffes, aber geringe Haftung auf unebenen Oberflächen (Fließeigenschaften)

Besonders ungünstige Belastungen für Verklebungen sind Spalt- und Schälbelastungen. Dabei wird nicht die gesamte Fläche belastet, sondern nur eine Linie. Dadurch kann es an dieser Stelle zum Aufreißen des Klebstofffilms oder zum Adhäsionsbruch mit einer der Oberflächen kommen.

Ein weiterer Unterschied zwischen Klebern mit hohem Adhäsionsanteil (Kautschukkleber) oder hohem Kohäsionsanteil („trockene“, scherfeste Acrylatkleber) ist ihre Fähigkeit, in die Rauigkeit der zu verklebenden Oberfläche einzudringen.

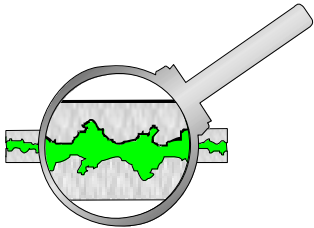


Bild 6 Weicher Kleber, der in Unebenheiten eindringen kann.

Wärmehärtende Klebstoffe haben zumeist den Vorteil guter Fließeigenschaften vor der Aushärtung und hervorragender Scherfestigkeit nach der Erwärmung. Sie behalten einen duroplastischen Zustand, d.h. sie verspröden nicht.

3.3 Klassifizierung der Isolationsstoffe nach Wärmeklassen

Geräte, die u.a. mit Hilfe von Isolationsfolien und Klebebändern hergestellt werden, unterliegen unterschiedlichsten Umweltbedingungen. Dazu gehört auch eine hohe Umgebungstemperatur bzw. eine zusätzliche Eigenerwärmung. Daher werden Isolationsklebebänder in so genannte Wärmeklassen eingeteilt. Diese geben im Prinzip an, welche z.B. in IEC 60454 spezifizierten Mindesteigenschaften ein Isolationsklebeband nach 10.000 Betriebsstunden noch haben muss. Dem Entwickler sind damit Möglichkeiten an die Hand gegeben, ohne eigene, langwierige Versuche Materialien für eine spezielle Anwendung auszuwählen. Die Wärmeklassen und die dazu gehörigen Materialien / Kleber sind weiter oben bereits mehrfach erwähnt worden.

Isolationssysteme sind Zusammenfassungen verschiedenster Isolationsstoffe, die in einem Gerät (z.B. Elektromotor) eingesetzt werden. Im Prinzip wird dabei die chemische Kompatibilität der einzelnen Komponenten unter erhöhten Temperaturen geprüft. Nach einer vorgegebenen Zeit muss die Isolationsfähigkeit der Produkte (insbesondere die des Isolationslacks auf den Kupferdrähten) noch Mindestanforderungen einhalten. Solche geprüfte Systeme erhöhen die

Sicherheit einer Entwicklung nochmals, da nicht mit chemischen Reaktionen zu rechnen sind, die das Isolationssystem schädigen.

Ausgehend von dieser Klassifizierung der Folien kann man allgemein auch die Klebstoffe den Wärmeklassen zuordnen:

3.3.1 Isolationsklasse E (bis 120°C)

Häufig werden in dieser Klasse Kautschukkleber eingesetzt. Dieser Kleber besteht aus natürlichen oder synthetischen Kautschukmassen, die durch Zugabe von Harzen und Füllstoffen eine klebstärke, tränkmittelfeste und bedingt auch scherfeste Verklebung ergeben. Der Klebstoff ist günstig und hat eine besonders hohe Anfangshaftung (Tack). Allerdings altern diese Klebstoffe und haben einen nur geringen Zusammenhalt der Klebstoffmasse (Kohäsion).

3.3.2 Temperaturklasse B (bis 130°C)

In dieser Klasse werden sehr häufig Polyesterfolien eingesetzt, die eine Kurzzeitbelastung von 175°C aushalten.

Das hierbei am häufigsten eingesetzte Klebersystem sind die **Acrylatkleber**.

Sie sind chemisch sehr beständig. Dank ihrer UV- und Alterungsbeständigkeit sind Acrylatkleber auch im Außenbereich einsetzbar. Durch Zugabe von Harzen und Vernetzern sind vielfältige Klebereinstellungen möglich.

Außerdem gibt es heute lösungsmittelfreie, wasserbasierte Acrylatkleber, sodaß eine umweltfreundliche Fertigung möglich ist. Allerdings sind diese Kleber wegen ihrer elektrolytisch-korrosiven Wirkung nur bedingt einsetzbar.

3.3.3 Isolierstoffklasse F (155°C)

Beide Typen, **wärmehärtende Acrylatkleber** und **wärmehärtende Kautschukkleber** werden in diesem Bereich eingesetzt.

3.3.4 Isolierstoffklasse H (180°C) und C (205°C)

Für die Klasse H können noch wärmehärtende Acrylatkleber eingesetzt werden. Bei höheren Temperaturen finden nur noch Siloxankleber Einsatz.

Diese Siloxankleber sind extrem temperatur- und alterungsbeständig. Auch haften sie auf Oberflächen, die anti-adhäsiv sind. Daher eignen sie sich für die Verklebung von silikonisierten oder gewachsenen Materialien. Aufgrund der hohen inneren Festigkeit (Kohäsion) lassen sie sich auch nach Temperaturbelastung rückstandsfrei wieder entfernen.

4 Eigenschaften von Klebebändern

Aus der Verbindung von Elektro-Isolierfolie und technischem Kleber entstehen Klebebänder, an die bestimmte Erwartungen geknüpft werden. Einige der Eigenschaften von Folie und Kleber sind bereits genannt worden. Es sind jedoch weitere Informationen, vor allem über mechanische Eigenschaften von Interesse:

4.1 Reißfestigkeit/Reißkraft

Besonders Bänder, die zum Bündeln und Ummanteln verwendet werden, benötigen eine hohe Reißfestigkeit. Angegeben wird diese Reißfestigkeit meist in N Zugkraft/10mm Bandbreite. Glasgewebe kann einige 100N erreichen. Die Reißkraft gemäß DIN 40633 gibt an, wann das Band tatsächlich reißt.

4.2 Reißdehnung

Sie gibt an, bei wie viel Prozent Dehnung ein Klebeband reißt. Für Polyester mit 25µ Dicke liegt diese bei etwa 80-120%.

4.3 Brennverhalten

Gibt an, wie lange ein Teststreifen des Klebebandes nach einem standardisierten Verfahren weiterbrennt. Ziel ist natürlich eine möglichst kurze Weiterbrennzeit. Diese wird am besten von Kapton oder Nomex erreicht. Ein Prüfverfahren ist z.B. in der IEC 60454 oder dem amerikanischen Standard UL510 beschrieben. Die Definitionen beschreiben Produkte, die weiterbrennen, verlöschen, flammhemmenden oder sogar nicht entzündlich sind.

4.4 Elektrolytische Korrosionswirkung

Nicht unterschätzt werden darf die korrosive Wirkung von bestimmten Klebebändern im

Langzeiteinsatz. Gemessen wird diese Wirkung auf einer gereinigten und gebeizten Messingoberfläche.

Der beste Wert für die korrosive Wirkung entsprechend der IEC 60454 ist A 1. Werte unter AN 1,4 gelten als nicht korrosiv.

4.5 Abrollkraft

Besonders bei dem automatisierten Abkleben von Spulen oder Wickeln ist die zum Abrollen notwendige Kraft interessant (es ist also die Kraft gemeint, mit der das Band an seinem Rücken haftet). Ist diese Kraft zu hoch, dehnt sich das Band und kann später zurückkriechen. Das kann zu Löchern in der Isolation führen oder dem so genannten „Flagging“ (das Ende der Verklebung löst sich und bildet eine Flagge).

4.6 Scherfestigkeit

Die Scherfestigkeit wird getestet, indem man eine definierte Klebebandfläche (z.B. 625mm²) mit einem festgelegten Gewicht (z.B. 1kg) belastet und abwartet, ob und nach welcher Zeit das Band abschert. Es wird hierbei der innere Zusammenhalt des Klebers geprüft (Kohäsion). Testverfahren z.B. Finat FTM 8.

4.7 Durchschlagsfestigkeit

Besonders interessant für den Einsatz einer Isolierfolie ist natürlich, zu wissen, bis zu welcher Spannung man diese einsetzen kann. Die Durchschlagsfestigkeit gibt an, bei welcher Spannung tatsächlich ein Durchschlag erfolgt.

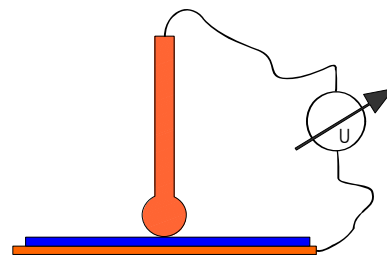


Bild 5 Elektrische Durchschlagsfestigkeit (IEC 60454)

4.8 Klebkraft

Diese Angabe ist für viele eine der wichtigsten. Denn hier wird ausgesagt, welche Qualität, bezogen auf den Zweck, das Klebeband hat. So ist in

den meisten Fällen eine möglichst hohe Klebkraft gefordert.
Die Klebkraft wird meist wie folgt gemessen (IEC 60454):

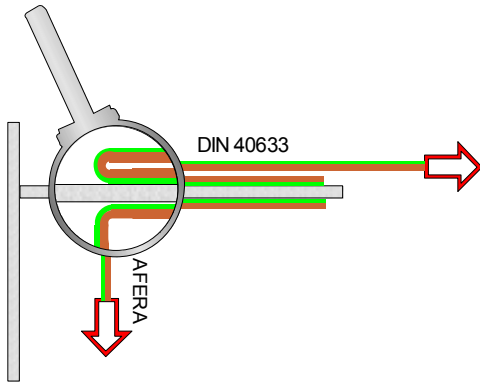


Bild 6 Abziehungskraft von der Platte (meist 300mm/min)

Über diese Angaben hinaus kann es im Einzelfall noch weitere Kenndaten geben, die benötigt werden. Die besten Ergebnisse in der Praxis werden erzielt, wenn Experten des Anwenders und des Herstellers rechtzeitig zusammenarbeiten.

4.9 Kriechwegbildung

Wird eine Isolationsfolie permanent bei Spannungen oberhalb von ca. 100V betrieben, kann es durch die Coronaentladung (Entladung in die Luft hinein) zu einer Schädigung der Isolation kommen. Diese Schädigung ist bei steigender Spannung stark ansteigend. Dabei entstehen durch den Abbau des Materials kohlenstoffhaltige Ablagerungen, die zu einem leitfähigen Belag führen. Dieser führt zum Verlust der Isolationswirkung.

Um diesen Abbau der Isolation schnell bestimmen zu können, wird prinzipiell zwischen zwei Elektroden eine leitfähige Flüssigkeit getropft und damit ein standardisierter Wert der Beständigkeit gegen Kriechwegbildung ermittelt. Ein guter Wert ist dabei 1 bzw. 600V. Polyester verfügt über diesen guten Wert, während ungefülltes Kapton® den relativ niedrigen Wert von 4 hat. Eine gute Maßnahme gegen diese Wegbildung ist das Verhindern der Coronaentladung. Das erreicht man am leichtesten durch Tränken, da dann die Entladungsstrecken in der Luft entfallen.

Darüber hinaus beeinflusst natürlich auch Verschmutzung und Luftfeuchtigkeit die Bildung von Kriechwegen.

5.0 Chemische Kompatibilität

Isolations-Klebebänder werden stets in Verbindung mit vielen anderen Produkten wie Lackdraht, Tränkharze und andere Isolationsmaterialien eingesetzt. Daher ist es notwendig, daß diese einzelnen Produkte sich nicht gegenseitig negativ beeinflussen. Die übliche, prinzipielle Vorgehensweise ist, ein Isolationssystem zu definieren. Darin sind alle verwendeten Materialien vereinigt und durch Langzeittests hinsichtlich ihrer Kompatibilität geprüft.

Insbesondere bei der Verwendung von Tränkmitteln in Verbindung mit Klebebändern können Probleme auftauchen, da die Lösemittel bzw. Monomere in den Tränkmitteln den Klebstoff angreifen können. Meist hilft hier der Umstieg z.B. von einem Kautschuk- auf einen Acrylatkleber oder umgekehrt.

Über diese Angaben hinaus kann es im Einzelfall noch weitere Kenndaten geben, die benötigt werden. Die besten Ergebnisse in der Praxis werden erzielt, wenn Experten des Anwenders und des Herstellers rechtzeitig zusammenarbeiten.

Unsere Experten erreichen Sie unter der Rufnummer:

Tel. 06233/3763-0 Fax. -90
info@cmc-klebetchnik.de

Weitere Produkte aus unserem Hause:

- Abdeckbänder
- Heißsiegelfolien
- Abschirmbänder
- Etiketten
- Klebende Metallfolien
- Schutzfolien
- doppelseitige Klebebänder
- Splicingbänder