Polyphenylenoxide werden in beliebigen Farben hergestellt, sind selbstlöschend und können bis +140 °C verwendet werden. Sie haben eine Dichte von 1,2 g/cm^3, der spezifische Widerstand beträgt etwa 10^{17} Ω · cm, die Durchschlagsfestigkeit liegt zwischen 20 und 40 kV/mm, die Zugfestigkeit beträgt etwa 100 N/mm^2. Norylteile sind dehnbar und haben ein gutes Bruchverhalten, was besonders bei Teilen im Innenraum von Autos wichtig ist.

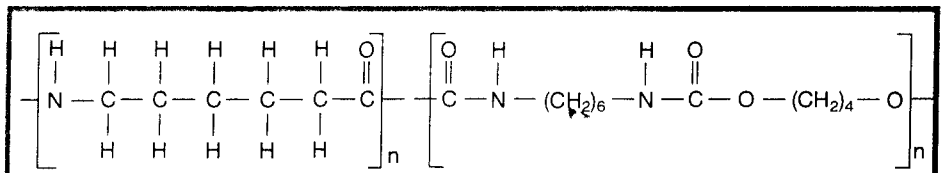
Polyphenylenoxide werden ferner z. B. zur Herstellung der verschiedensten Gehäuse und Gehäuseteile, für Form- und Isolierteile in der gesamten Elektrotechnik sowie in Büro- und Haushaltsmaschinen verwendet.

7.14 Polyamide (PA) und lineare Polyurethane (PUR)

Handelsnamen: Akulon, Aramid, Durethan BK, Grilon, Kevlar, Mirlon, Nylatron, Nylon, Nylsuisse, Perlon, Platinol, Renyl, Rilsan, Supramid, Supronyl, Sustamid, Trogamid, Ultramid, Durethan U, Perlon U, Ultramid U

Herstellung

Ausgangsmaterialien sind stickstoffhaltige Kohlenwasserstoffverbindungen. Polyamide entstehen hauptsächlich bei höherer Temperatur durch Polykondensation von sog. Lactam. Lineare Polyurethane entstehen durch Polyaddition von einem sog. Desmodur mit Butandiol[1].



Die Schmelze wird entweder zu Strängen ausgepreßt, die nach dem Erkalten zerkleinert werden (Granulat), oder direkt zu Fäden verarbeitet.

Eigenschaften

Dichte:	1,1...1,2 g/cm^3
Spezifischer Widerstand:	10^{10}...10^{15} Ω · cm (siehe Polyamide, Wasseraufnahme)
Durchschlagsfestigkeit:	30...50 kV/mm
Dauertemperatur:	−40 °C...+110 °C (kurzzeitig bis 200 °C)
Schmelzpunkt:	150...250 °C, je nach Herstellung
Zugfestigkeit:	etwa 60 N/mm^2. Durch Recken ist eine Steigerung auf 200...500 N/mm^2 möglich.

$\varepsilon = 3...4$

$\tan \delta = 3 \cdot 10^{-2}$

[1] Desmodure sind cyanhaltige Kohlenwasserstoffverbindungen (Cyanate). Butandiol ist ein zweiwertiger Alkohol.

© Holland + Josenhans

Polyamide und lineare Polyurethane sind Thermoplaste. Sie haben helle Farben, können aber auch gefärbt werden. Polyamid kann auch transparent hergestellt werden. Durch entsprechende Bearbeitung und Zusätze kann das Material zäh-weich bis zähhart hergestellt werden.

Polyamid besitzt sehr gute Notlaufeigenschaften bei der Verwendung in Gleitlagern oder gleitenden Teilen und gehört zu den zähen thermoplastischen Konstruktionswerkstoffen.

Die Werkstoffe sind beständig gegen organische Lösungsmittel, werden aber von konzentrierten Säuren und Laugen angegriffen. Polyamide nehmen leicht Wasser auf, dabei verschlechtern sich die elektrischen Isolationseigenschaften.

Spezialpolyamide (z. B. Trogamid) sind dauerhaft transparent, hart, schlagzäh, abriebfest, kratzunempfindlich, formsteif, flammwidrig, lösungsmittelbeständig, kriechstromfest, nehmen nur wenig Wasser auf und haben sehr gute elektrische Isoliereigenschaften.

Spanabhebende Bearbeitung ist gut möglich. Verbindungen werden durch Kleben, Hochfrequenz- oder Heißluftschweißung hergestellt. Beide Kunststoffe sind sehr abriebfest. Gereckte Fäden (Perlon, Nylon) sind in der Zugfestigkeit den Naturfasern, vor allem Schafwolle und Baumwolle, weit überlegen.

Durch Verstärkung mit Glasfasern wird die Wärmedehnung stark verringert, die Materialien bleiben außerordentlich maßkonstant.

Die Kunststoffe brennen mit bläulicher Flamme und einem Geruch nach Horn, dabei schmilzt der Stoff, Tropfen ziehen Fäden.

Verwendung

Polyamide dienen bei Draht- und Kabelummantelungen nur als mechanischer Schutz. Lineare Polyurethane können gleichzeitig auch als Elektroisolation eingesetzt werden. Spezialpolyamide dienen u. a. als Schaltknöpfe, Drucktasten, Träger von Kontakten, Hebel und Betätigungsstege in nachrichtentechnischen Geräten, als isolierende Lager, transparente Abdeckhauben und Gehäuse sowie als Spulenkörper und Tonbandkassetten. Mineralfaserverstärktes Polyamid lädt sich nicht elektrostatisch auf und dient als „Träger" beim Transport von Mikrochips.

Kunstseidefäden dienen zur Umspinnung von Leitern und Kabeln sowie zur Herstellung von Treibriemen, Sicherheitsgurten und kugelsicheren Westen.

Folien dienen als Trägermaterial für Dehnungsmeßstreifen und können begrenzt zur Isolation von Motoren, Ankern und zur Nutenauskleidung verwendet werden. Teilweise wird sog. Polyamidpapier (als Nomexpapier im Handel), mit Kupfer, Widerstandsmaterial oder auch Kunststoffen beschichtet bzw. mit Glasgewebeeinlagen versehen, als Leiter- bzw. Widerstandsplatte oder Isoliermaterial verwendet.

Verbundfolien aus Polyamid mit Polyethylen sind gesundheitlich unbedenklich, aromafest, geschmacksfrei sowie öl- und fettbeständig und werden zur Verpackung von Lebensmitteln verwendet.

© Holland + Josenhans

dem Grad und der Richtung der Orientierung der Fasern, sind Festigkeit und Steifigkeit in Orientierungsrichtung wesentlich größer als quer dazu.

Die stabförmige, starre Struktur der flüssigkristallinen Polymere bewirkt eine erhebliche Verbesserung der mechanischen Eigenschaften verglichen mit herkömmlichen Polymeren. LCP-Werkstoffe bieten daher bei hoch beanspruchten Formteilen, die seither aus anderen Polymeren, aus Duroplasten oder Leichtmetall-Legierungen hergestellt wurden, die bessere Alternative.

Durch Modifizierung der Grundpolymere und die Verwendung von Füll- und Verstärkungsstoffen, 10...50%, (z. B. Glasfasern, Kohlenstoffasern, Mineralfasern und Mineral oder Graphit) sind optimale Anpassungen an unterschiedliche Anwendungsbereiche möglich.

Flüssigkristalline Polymere können zwischen –200 °C ...+220 °C (kurzzeitig bis +240 °C) verwendet werden. Die Werkstoffe verhalten sich flammwidrig und besitzen eine sehr gute Chemikalien- und Oxidationsbeständigkeit und nehmen nur sehr wenig Wasser auf. Auch in dünnen Wandbereichen sind die Festigkeitswerte hoch. Die elektrischen Eigenschaften entsprechen etwa den Werten von PET/PBT. LCP-Werkstoffe sind mikrowellendurchlässig und werden von Gammastrahlung nicht beeinträchtigt.

LCP wird in der Elektrotechnik u. a. zur Herstellung von polymeren Lichtleitfasern, Teilen in der Faseroptik, Steckern, Spulenkörpern, Schaltern und für Teile in Mikrowellen- und CD-Geräten verwendet.

Die guten Eigenschaften der aromatischen Polyester einschließlich die leichte Verarbeitbarkeit, meist in Spritzgußverfahren, ermöglichen vielfältige Anwendungen in vielen Industriebereichen.

Aus flüssigkristallinen Polyestern ist auch die Herstellung von Fasern für extreme Anwendungen möglich. LCP- bzw. Polyaramidfasern werden z. B. zur Verstärkung von hochwertigen Autoreifen, von Druck- und Bremsschläuchen sowie für die Herstellung von Keilriemen verwendet.

Gewebe sind temperaturbeständig und geschoßhemmend und dienen zur Herstellung von Schutzkleidung für Feuerwehr und Polizei.

Bei hohen Anforderungen an die Feuersicherheit werden Gewebe aus **PBI**-Fasern, **Polybenzimidazol**, verwendet. PBI-Gewebe haben textile Eigenschaften und den Tragekomfort von Baumwolle. Diese sogenannten Hochleistungsfasern sind unbrennbar, sehr gut chemikalienbeständig und können zwischen –160 °C und +425 °C verwendet werden (kurzzeitig bis 750 °C).

Außer Schutzanzügen und feuerfesten Auskleidungen werden aus Polybenzimidazol auch Formteile hergestellt. PBI-Fasern werden in einigen Bereichen auch als Ersatzstoff für Asbest verwendet.

7.13 Polyphenylensulfid (PPS)

Handelsname : Fortron

Herstellung

Durch Polykondensation entsteht aus Phenylenringen und je einem Schwefelatom das lineare teilkristalline Polyphenylensulfid.

Eigenschaften

Dichte:	1,6...2,0 g/cm^3 (je nach Füllstoff)
Spezifischer Widerstand:	$>10^{15}\ \Omega \cdot$ cm
Durchschlagsfestigkeit:	20 kV/mm
Dauertemperatur:	240 °C (kurzzeitig 260 °C)
Zugfestigkeit:	90...190 N/mm^2
Dehnung:	1...4 %

$\varepsilon = 4...6$
$\tan \delta = 1 \cdot 10^{-3}...10 \cdot 10^{-3}$

Polyphenylensulfid ist ein Thermoplast. Der Werkstoff besitzt eine sehr gute Chemikalien- und Oxidationsbeständigkeit, eine große Härte und Steifigkeit sowie eine sehr geringe Wasseraufnahme.

Die Verarbeitung erfolgt in Extrusions- oder Spritzgußverfahren. Durch Zugabe von Zuschlagstoffen, Glasfasern oder Glasfaser-Mineralmischungen, etwa 50 %, wird besonders die Wärmeformbeständigkeit gegenüber unverstärktem Material verbessert.

Verwendung

Aufgrund seiner Eigenschaften ist PPS ein sog. Hochleistungs-Thermoplast. Formteile, die hohen thermischen und mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt sind, werden anstatt aus Leichtmetall-Legierungen oder Duroplasten auch aus PPS hergestellt.

Aufgrund der extrem geringen ionischen Verunreinigungen werden in der Elektrotechnik, besonders in der Elektronik z. B. Verkapselungen für Halbleiterbauelemente und Kondensatoren, sowie Stecker und Steckerleisten, Spulenkörper, Relaisteile und Schalter aus Polyphenylensulfid hergestellt.

Im Automobilbau wird PPS in steigendem Maß z. B. in Abgasrückführungssystemen, Pumpen, Ventilen, Luftansaugsystemen und für Dichtungen verwendet. In der Feinwerktechnik und im Maschinenbau werden Funktionsteile aus mit Zuschlagstoffen verstärktem Polyphenylensulfid verwendet.

Polyphenylenoxid (R– (CH_3) O)[1] ist z. B. unter dem Namen Noryl im Handel. Das Material ist chemisch mit den Polyacetalen verwandt und ist ein Thermoplast.

[1] R entspricht einer ringförmigen Kohlenwasserstoffverbindung

Eigenschaften:

Dichte:	1,1...1,8 g/cm^3
Spezifischer Widerstand:	10^{15}...$>10^{16}$ $\Omega \cdot$ cm
Durchschlagsfestigkeit:	30...60 kV/mm (Folie bis >200 kV/mm)
Zulässige Dauertemperatur:	100...250 °C
Zugfestigkeit:	30...150 N/mm^2 (Folie bis 280 N/mm^2)
Reißdehnung:	5...250 %

$\varepsilon = 2...4$
$\tan \delta = 2 \cdot 10^{-3}...10 \cdot 10^{-3}$

Lineare bzw. gesättigte Polyester sind Thermoplaste, (ungesättigte Polyester ergeben nach dem Zusatz von Härtern Duroplaste, vergleichen Sie Abschnitt 7.18 Gießharze).

Lineare Polyester sind farblos, transparent, können jedoch beliebig gefärbt werden. Sie haben hohe mechanische Festigkeiten, auch bei tiefen Temperaturen, sind abriebfest und haben gute Gleiteigenschaften. Durch Verstärkung mit Glasfasern (20...45 %) oder Mikroglaskugeln sind Modifikationen der mechanischen und thermischen Eigenschaften leicht möglich.

PET/PBT besitzen gute elektrische Eigenschaften, ein konstantes dielektrisches Verhalten und eine geringe Wärmedehnung, sie verhalten sich je nach Ausrüstung flammwidrig.

Gesättigte Polyester sind formbeständig bei Wärme, UV-beständig, wasserundurchlässig und nehmen nur wenig Wasser auf, sie sind witterungsbeständig und haben eine hohe Chemikalien- und Alterungsbeständigkeit (konzentrierte Laugen und Säuren bewirken eine Versprödung des Werkstoffs).

Spanlose Verformungen sind gut möglich. Die Verarbeitung erfolgt meist durch Spritzgießen (Formteile) oder in Extrusionsverfahren (Halbzeuge). Verbindungen werden meist durch Kleben hergestellt. Besonders Folien können sehr leicht mit anderen Materialien oder Farben beschichtet, metallisiert oder bedruckt werden.

Lineare Polyester können auch elastomermodifiziert oder als Flüssig-Kristall-Polymer hergestellt werden.

Verwendung

Polyesterfolie wird im Elektromaschinen- und Transformatorenbau sowie bei der Herstellung von Kabeln einschließlich Bandleitungen sowie in Spulen und Relais als Isolierfolie verwendet. Sie dient ferner als Dielektrikum für Kondensatoren, Trägermaterial für Magnetbänder, Klebeband und Basismaterial für flexible gedruckte Schaltungen. Mit Aluminium bedampfte Polyesterfolie wird u. a. auch als Sonnenschutzfolie verwendet. Zeichenfolien, Bucheinbände, Büroartikel und Verpackungsmaterial werden ebenfalls aus linearen Polyestern hergestellt. Teilweise werden Folien auch mit Papier, Glimmer, Glasseidegewebe oder mit verschiedenen Kunststoffen beschichtet bzw. die Folie dient selbst als Beschichtungsmaterial.

© Holland + Josenhans

Polyestervlies besteht aus Fasern, die ohne Zusatz eines Bindemittels noch verdichtet sind. Dieses Vlies dient vor allem zur Herstellung von Isolationsmaterial, das noch mit Harz oder Lack getränkt wird.

Polyesterfasern werden zur Herstellung von Geweben und Stoffen in der Bekleidungsindustrie verwendet. Aus mit Kunstkautschuk beschichteten Polyesterfasern werden Hüllen für Luftschiffe und Heißluftballons hergestellt.

Formteile aus PET und PBT sind in ihren Eigenschaften POM-, PA-, PC- und ABS-Kunststoffen oft überlegen und werden daher in gleichen Anwendungsbereichen eingesetzt bzw. ersetzen diese Kunststoffe.

In der Elektrotechnik werden aus PBT (meist mit Glasfasern oder Glaskugeln verstärkt) u. a. Lampensockel und Lampengehäuse, Kabelsteckverbindungen, Spulenkörper und Spulenummantelungen, Relaisteile, Teile zur sog. Primärisolation, Computereingabeeinheiten, Tastaturen, Platinen für gedruckte Schaltungen, Elektronikeinheiten sowie Gehäuse und Gehäuseteile für elektrische Haushaltsgeräte (auch Friteusen, IR-Lampen und Grillgeräte) hergestellt.

Im Maschinenbau, einschließlich Feinwerktechnik, und in der Automobilindustrie werden die sehr guten mechanischen Eigenschaften, die gute Chemikalienbeständigkeit, die guten Gleiteigenschaften mit hoher Abriebfestigkeit sowie die Steifheit, Schlagzähigkeit, Wärmeformbeständigkeit und die guten Federeigenschaften von PET und PBT zur Herstellung vielfältiger Konstruktionsteile wie Zahnräder, Lager, Nocken, Steuerscheiben, Rollen, Ketten, Ventil-Formteile und Pumpengehäuse ausgenutzt.

Elastomermodifiziertes Polybutylenterephtalat (PBT) wird vor allem in der Autoindustrie für schlagzähe Stoßfängerteile und Karosserieteile sowie zur Herstellung von Koffern, Transportkästen usw. verwendet.

Thermoplastische Polyesterelastomere (TPE) stehen mit ihren Eigenschaften zwischen herkömmlichen Elastomeren und Hochleistungskunststoffen. Ein flexibel-zähes Eigenschaftsprofil von TPE zusammen mit Reißfestigkeit, Rückstellvermögen und Chemikalienbeständigkeit begründen die Verwendung des Werkstoffs vor allem in der Autoindustrie u. a. für Stoßfängerschürzen, Seitenschutzleisten, Verkleidungsprofile und Spoiler.

Aromatische Copolyester, Handelsname z. B. Vectra, sind in der Schmelze verarbeitbare sog. **flüssigkristalline Polymere (LCP** – Liquid Crystalline Polymere).

Flüssigkristalline Polymere bestehen aus starren, stabförmigen Makromolekülen, die sich in der Schmelze parallel ausrichten und damit eine flüssigkristalline Struktur erzeugen. Die Ausrichtung – Bildung von Fasern und Fibrillen – erfolgt unter dem Einfluß der Strömung der Schmelze bei thermoplastischen Verarbeitungsverfahren. Beim Abkühlen frieren die Fasern ein.

Im Festzustand ist die Struktur der flüssigkristallinen Polymere der Struktur von Holz sehr ähnlich. Da in der Matrix der LCP Fasern aus dem gleichen Polymer eingelagert sind, entsteht eine zusätzliche Verstärkung (selbstverstärkende Polymere). Je nach

© Holland + Josenhans

Schutzhandschuhen usw. Häufig werden auch Gewebe, z. B. für Regenmantel, mit PVC-Paste (hoher Weichmacheranteil und gelatiniert) bestrichen. Folien verwendet man für Verpackungszwecke.

Hartschaumstoff auf PVC-Basis (Conticell) dient zur Herstellung von Kernmaterial bei Sandwichplatten, die bei geringem Gewicht eine große Festigkeit und eine gute Wärmeisolation besitzen. Der Hartschaumstoff wird außerdem u. a. im Waggon-, Schiffs-, Karosserie- und Flugzeugbau sowie in der Raketentechnik und im Bauwesen verwendet.

Astralon

Astralon ist ein Mischpolymerisat der Ausgangsprodukte von PVC und Acrylglas (Vinylchlorid und sog. Ethylacrylsäure). Es hat etwa die gleichen Eigenschaften wie PVC.

Da Astralon maßhaltig ist, stellt man daraus Skalen, Umschlaghüllen und Zeichengeräte her.

7.11 Polycarbonate (PC)

Handelsnamen: Kimfol, Makrolon, Makrofol, Lexan

Herstellung

Polycarbonate entstehen bei der Polymerisation von Kohlensäureester. Kohlensäureester bilden sich beim Zusammenwirken von Kohlensäure mit Alkoholen.

Bei der Herstellung nach einem Polykondensationsverfahren bilden Phosgen (CCl_2O) und Bisphenol A-Na-Salz das Polycarbonat.

Eigenschaften

Dichte:	1,2 g/cm^3
Spezifischer Widerstand:	$10^{16}\ \Omega \cdot$ cm (Folie $10^{17}\ \Omega \cdot$ cm)
Durchschlagsfestigkeit:	25 kV/mm (Folie bis >200 kV/mm)
Zulässige Dauertemperatur:	135 °C
Schmelztemperatur:	etwa 230 °C
Zugfestigkeit:	60 N/mm^2

$\varepsilon = 3$
$\tan \delta = 7 \cdot 10^{-4}$ (Folie $1{,}5 \cdot 10^{-3}$)

Polycarbonate sind Thermoplaste. Sie besitzen im allgemeinen eine leicht gelbliche Farbe; ihre Lichtdurchlässigkeit beträgt 75...90%. Die Oberfläche ist glatt und glänzend.

Polycarbonate sind witterungsbeständig. Leicht lösend bis quellend wirken verschiedene organische Lösungsmittel, u. a. Aceton, Benzol, Chloroform und Tetrachlorkohlenstoff. Alkalien zerstören den Werkstoff.

Polycarbonate sind sehr schlagfest und besitzen eine große [illegible] und formsteif. Schlagbeanspruchungen führen daher nicht zum Bruch, sondern rufen eine plastische Deformation hervor. Polycarbonate werden teilweise mit Glasfasern verstärkt und sind gut spanabhebend bearbeitbar. Verbindungen können durch Kleben oder Heißluftschweißen hergestellt werden. Die Verformung von Platten und Folien ist nach dem Vakuumverfahren unterhalb des Schmelzpunktes leicht möglich.

Polycarbonate brennen geruchlos, die Flamme erlischt jedoch außerhalb der Zündquelle.

Verwendung

In der Elektrotechnik dienen Polycarbonate zur Herstellung von Spulenkörpern, Relaisteilen, Kontaktleisten, Montageplatten und -rahmen, Verteilerdosen, Steckern und Steckdosen, Schaltern, Lampen- und Röhrenfassungen, Steuerscheiben, Isoliergriffen, Drehknöpfen, Batterie- und Sicherungskästen, Lampenabdeckungen, Leuchtröhrenfassungen usw. Folien können in Dicken bis unter 1µm hergestellt werden und dienen als Dielektrikum von Kondensatoren und zur Isolation von Wicklungen. Ferner werden aus Polycarbonaten Rückleuchten, Positionsleuchten für die Luftfahrt, Gehäuse für Tachometer, Magnetventile, Schutzhelme, Regler und Projektoren sowie Injektionsspritzen, Lineale, Winkelmesser, Teile von Haushaltsmaschinen und Geschirr jeder Art sowie viele Teile im Innenraum von Autos einschließlich gesamte Armaturenbretter hergestellt.

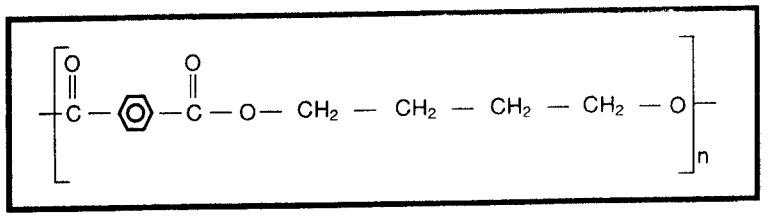
7.12 Lineare Polyester (PET, PBT)

Handelsnamen: Arnite, Celanex, Deroton, Hostadur, Impet, Riteflex, Vandar, Vektra, Ultradur
Hostaphan, Mylar, Mioflex (Folie)
Dacron, Diolen, Trevira (Fasern)

Herstellung

Bei der Polykondensation von Terephthalsäure (C-O-H-Verbindung) mit Ethylenglykol (zweiwertiger Alkohol) entsteht das Polyethylenterephthalat (PET), das im Grundaufbau den linearen bzw. gesättigten Polyestern entspricht.

Bei einem anderen Verfahren wird aus Polybutylenterephthalat (PBT) durch Polykondensation ein teilkristalliner Polyester erzeugt.



Vinylchlorid ist cancerogen, so daß die Herstellung von PVC (toxikologisch unbedenklich) in einer geschlossenen Anlage mit ständiger Überwachung erfolgen muß.

Bei direkter Weiterverarbeitung des PVC-Pulvers ohne Zusätze entsteht Hart-PVC. Durch Zusatz von Weichmachern (bis zu 50 %) wird Weich-PVC hergestellt.

Eigenschaften

Dichte:	1,2...1,5 g/cm^3
Spezifischer Widerstand:	etwa $10^{15}\ \Omega \cdot$ cm
Durchschlagsfestigkeit:	bis 50 kV/mm
Zulässige Dauertemperatur:	bis 60 °C
Erweichungstemperatur:	120...150 °C
Zugfestigkeit:	50 N/mm^2 Hart-PVC,
	20 N/mm^2 Weich-PVC
Dehnung:	100 % Hart-PVC
	etwa 200 % Weich-PVC

$\varepsilon = 3...6$
$\tan \delta = 2 \cdot 10^{-2}$ (abhängig vom Weichmacheranteil)

Je nach Menge und Art des Weichmachers werden die Eigenschaften von Weich-PVC gegenüber Hart-PVC teilweise etwas verschlechtert.

Polyvinylchlorid ist ein Thermoplast.

PVC hat eine glänzende Oberfläche, es wird klar und in beliebigen Farben hergestellt. Durch Zusatz eines mehr oder weniger großen Anteils an Weichmachern lassen sich Härte und Zähigkeit von Weichgummi bis Horn variieren.

Je nach Weichmacherart können auch Pasten hergestellt werden. Durch Zusatz von Treibmitteln zu PVC-Pasten ist nach einem Gelierprozeß die Herstellung von Schaum-PVC möglich.

PVC ist chemisch außerordentlich beständig. Es nimmt nur sehr wenig Wasser auf und wird bei Normaltemperatur von Säuren, Laugen, Öl, Alkohol und Benzin nicht angegriffen. Quellend bis lösend wirken Benzol, Aceton, Ether, Chloroform, Tetrachlorkohlenstoff und konzentrierte Salpetersäure. Durch Zugabe besonderer Stabilisatoren (z. B. Zinnverbindungen) kann PVC gegen Licht- und Witterungseinflüsse stabilisiert werden.

PVC kann am besten im Bereich von 120...150 °C spanlos verformt werden. Hart-PVC läßt sich gut, Weich-PVC schlechter spanabhebend bearbeiten. Verbindungen stellt man mit Spezialklebern oder durch Schweißen mit Heißluft her. PVC-Folien werden mittels Hochfrequenz verschweißt. Erwärmungen beim Schweißen und Warmverformen sollen so kurz wie möglich sein, da sich das Material bei höheren Temperaturen leicht zersetzt.

Elektrisch leitfähiges PVC (PVC-EL) wird als Platten geliefert, der Oberflächenwiderstand ist $< 10^6\ \Omega$; der spezifische elektrische Widerstand beträgt etwa $10^6\ \Omega \cdot$ cm; Verbindungen werden durch Schweißen hergestellt.

© Holland + Josenhans

Ein modifiziertes PVC, dessen Molekularstruktur durch Strahlenbeschuß verändert wurde, ist unter der chemischen Bezeichnung Polychloralken (PCA) im Handel. Das Material ist erhöht hitzebeständig (lötkolbenfest) und besitzt eine sehr gute Druck- und Abriebfestigkeit.

PVC kann auch mit Beton, Holz oder Stahl verklebt werden.

PVC brennt nur, solange es im Bereich der Flamme ist. Dabei entsteht ein stechender Geruch nach Salzsäure.

Pro Jahr werden in der Bundesrepublik etwa 2 Millionen Tonnen PVC produziert. PVC-Altteile und -Abfälle können problemlos zu Granulat verarbeitet und dem Produktionsprozeß wieder zugeführt werden. Bei der Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen entstehen Chlorwasserstoffe, die aus den Rauchgasen ausgewaschen werden müssen.

Verwendung

Sowohl Weich- als auch Hart-PVC werden in der Elektrotechnik als Werkstoff verwendet.

Weich-PVC: Der Kunststoff wird direkt um den Leiter gespritzt und dient somit als Aderisolation. Bei Kabeln dient PVC als Mantelisolation, es ersetzt den schweren Bleimantel.

Kabel mit PVC-Mantel sollen bei nicht zu tiefen Temperaturen verlegt werden, da der Kunststoff unterhalb des Gefrierpunktes spröde wird.

PVC-Pulver dient als Beschichtungsmaterial für Metalloberflächen. Der Auftrag erfolgt meist durch Wirbelsintern.

Strahlenvernetztes PVC (PCA) wird als Isolationsmaterial für Kabel und Drähte sowie Litzen für Spannungen bis > 1000 V verwendet.

Hart-PVC: Rohre aus Hart-PVC verdrängten die früher in der Elektroinstallation üblichen Stahlrohre in Feuchträumen und chemischen Betrieben. Die PVC-Rohre werden bei Wärme gebogen und an den Stoßstellen geklebt. Kabelkanäle zur Verlegung von Installationsleitungen werden u. a. aus Hart-PVC hergestellt.

Akkumulatorengefäße und Scheider zwischen den einzelnen Platten, Schaltkästen, Abzweigdosen sowie Spritzgußteile in Wasch- und Spülmaschinen werden oft aus PVC hergestellt.

Auch zur Herstellung von Tonbändern und Schallplatten wird PVC verwendet.

Hart-PVC findet weiterhin Verwendung als Werkstoff für korrosionsfeste Rohrleitungen und Apparate, Abzugskamine für Säuredämpfe, Beizbehälter, Ventile, Hähne, Pumpenteile, Kühlschrankverkleidungen, wetterfeste Wandverkleidungen, Fensterrahmen sowie für Zeichen- und Meßgeräte. Weich-PVC dient für abnutzungsfeste Fußboden- und Tischbeläge, elastische Industriependeltüren, Regen- und Schutzkleidung, Sitzbezüge (Kunstleder), Schreibmappen, Bucheinbände, Etuis, Tischdecken, Vorhänge und Wandbespannungen, Polsterungen, zur Herstellung von Taschen, Schläuchen,

© Holland + Josenhans

Vernetztes Polystyrol ist transparent und u. a. als Polypenco Q 200 im Handel. Es besitzt sehr gute Isolationseigenschaften bis in den UHF- und VHF-Bereich und ist gegen Mikrowellen- und Gamma- sowie Ionenstrahlung beständig. Hauptanwendungsbereich dieses auch durch Vernetzung schlagfesten Werkstoffs ist die Hochfrequenztechnik.

Aufgeschäumtes Polystyrol wird teilweise wegen seiner geringen kapazitiven Verluste (ε etwa 1) als Isolation in Hochfrequenzleitungen verwendet. Die Schaumstoffe besitzen außerdem eine sehr gute Wärmedämmung (u. a. Kühlschrankisolation). Wegen der geringen Dichte (0,02 g/cm^3) stellt man daraus Schwimmer, Rettungsringe, Reklamefiguren usw. her. Aufgeschäumtes Polystyrol dient auch als Verpackungsmaterial für hochwertige Geräte.

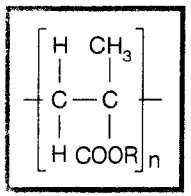
Ferner werden Konstruktionsteile im Maschinen- und Fahrzeugbau, in der Möbel- und Bauindustrie (u. a. Griffe, Beschläge, Sitzflächen, Fensterrahmen, Hinweis- und Verkehrsschilder) sowie viele Artikel des täglichen Gebrauchs wie Koffer, Einwegverpackungen und Haushaltsartikel aus Polystyrol oder Mischpolymerisaten hergestellt.

Auf verschiedenen Anwendungsgebieten werden Polyamide, Polykarbonate und Polyacetale durch ABS-Kunststoffe ersetzt bzw. ebenfalls verwendet.

7.9 Acrylglas, Acrylharz (PMMA)

Handelsnamen: Astralon, Lucite, Plexidur, Plexiglas, Resartglas, Rohadur (Tafeln, Rohre)
Plexigum, Resarit, Rohagum (Spritzguß-, Strangpreßmassen)

Herstellung



Aus Blausäure (Zyanwasserstoff HCN) und Aceton ($CH_3 \cdot CO \cdot CH_3$) entsteht durch Polymerisation Acrylglas, Polymethacrylsäuremethylester (Molekulargewicht bis 3 000 000).

Polymerisiert Blausäure mit Ethylen, so bildet sich Acrylharz, das zu Klebstoffen, durchsichtigen Anstrichmitteln und Kunstleder weiterverarbeitet wird.

Eigenschaften

Dichte:	1,2 g/cm^3
Spezifischer Widerstand:	etwa $10^{15}\ \Omega \cdot$ cm
Durchschlagsfestigkeit:	40 kV/mm
Zulässige Dauertemperatur:	etwa 80 °C
Erweichungstemperatur:	etwa 120 °C
Zugfestigkeit:	70 N/mm^2

$\varepsilon = 3$
$\tan \delta = 2 \cdot 10^{-2}$

© Holland + Josenhans

Acrylglas ist ein Thermoplast. Es ist durchsichtig, die Lichtdurchlässigkeit beträgt etwa 90 %. Acrylglas ist witterungs- und alterungsbeständig. Säuren und Laugen mittlerer Konzentration sowie Öl und Benzin greifen nicht an. Nicht beständig ist Acrylglas gegen Alkohol und Benzol.

Acrylglas entspricht in vielem dem normalen Silikatglas. Es ist diesem durch geringeres Gewicht, bessere Elastizität, Schlag- und Biegefestigkeit sowie durch die viel leichtere Bearbeitbarkeit überlegen. Acrylglas kann gut spanabhebend und ab 140 °C auch leicht warmverformt werden. Verbindungen stellt man durch Kleben oder Schweißen her.

Der Kunststoff brennt knisternd mit gelblicher Flamme und süßlichem, fruchtartigem Geruch. Das Material verbrennt völlig ohne Tropfenbildung.

Verwendung

Acrylgläser dienen in der Elektrotechnik als durchsichtige Abdeckungen von Schaltgeräten und zur Herstellung von Leuchten.

Ferner werden daraus Verglasungen von Fahrzeugen, Flugzeugkanzeln, Dächern, Gewächshäusern und Lichtreklamen hergestellt. Auch Schutzscheiben an Werkzeugmaschinen, Skalen und Uhrgläser, optische Teile, Zeichengeräte, Dekorationsgegenstände und Haushaltsgeräte bestehen häufig aus Acrylglas.

Für „Fensterglas" ist Acrylglas wegen seiner Kratzempfindlichkeit nicht geeignet.

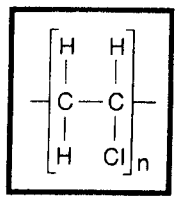
Acrylharz ist auch als Spray im Handel und dient zur schnellen Herstellung von transparenten bzw. glasklaren, hochisolierenden Überzügen.

Acryldispersionen werden zur Herstellung von lichtbeständigen Überzügen u. a. bei der Restauration von Gemälden verwendet.

7.10 Polyvinylchlorid (PVC)

Handelsnamen:	Genotherm, Hostalit, Igelit, Lonza, Phenotol, Solvic, Trisoplast, Vestolit, Vinnol, Vinoflex
Hart-PVC-Halbzeug:	Astralon, Luvitherm, Rhenadur, Rhenalon, Trovidur, Vinidur
Weich-PVC-Halbzeug:	Acella, Adretta, Alkor, Contan, Coroplast, Kautex, Koresal, Mipolam, Pegulan, Renolit

Herstellung



Aus Erdöl gewonnenes Ethen und Chlor aus Steinsalz ergeben über chemische Prozesse Vinylchlorid (C_2H_3Cl), das unter Anwesenheit von Katalysatoren bzw. mit Hilfe von Aktivatoren polymerisiert. Das Polymerisat fällt als eine Art Milch an. Daraus gewinnt man durch Zentrifugieren oder Zerstäuben weißes, körniges, hartes PVC-Pulver. Nach einem für Thermoplaste üblichen Verfahren wird dieses Pulver weiterverarbeitet.

© Holland + Josenhans

...stungen (bis 3000 N/cm²) hergestellt werden. Durch den Wegfall der Schmierung können z. B. in der Arznei-, Lebensmittel-, Papier- und Textilindustrie Verschmutzungen vermieden werden. In der Gummi- und Bäckereiindustrie werden Formen häufig mit (antiadhäsivem) PTFE-Belag versehen. In Bratpfannen mit Teflon- und Hostaflon-Beschichtung kann ohne Fett gebraten werden. PTFE-beschichtete Grafit- oder Stahlrohre in Wärmeaustauschern können sehr gut gereinigt werden.

Außerdem werden Dichtungen und Packungen, Ventile, Filter, starre und flexible Leitungen und Verbindungen, Faltenbälge, Membranen, Pumpenkörper usw. aus PTFE hergestellt bzw. mit PTFE beschichtet.

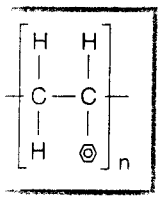
Polytetrafluorethylen bildet z. B., gemischt mit Phenolharz, Epoxidharz, Alkydharz oder anderen Kunstharzen in flüssiger Form, auch als Spray, auf Holz, Metall oder Kunststoff einen ausgezeichnet gleitenden Trockenschmierfilm, der bei Metallen auch gleichzeitig als Korrosionsschutz dient. Dieser Trockenschmierfilm findet u. a. im Maschinenbau und in der Möbelindustrie bei Gleitorganen Anwendung.

7.8 Polystyrol (PS) und Mischpolymerisate

Handelsnamen: Hostyren, Luran, Lustron, Polystyrol, Trolitul, Vestyron (Spritzguß, Tafeln oder Stäbe); Norflex, Styroflex (Folie); Poresta, Styropor, Vestyron (Schaumstoff, EPS-Kunststoffe)

Herstellung

Durch Anlagern von Ethylen an Benzol stellt man über Ethylenbenzol Styrol her. Unter Lichteinwirkung findet bereits bei Raumtemperatur die Polymerisation zu Polystyrol statt. Läßt man Styrol mit anderen Stoffen polymerisieren (z. B. Butadien, Acrylnitril, Acrylester), so entstehen Mischpolymerisate.



Zu den Mischpolymerisaten auf Polystyrol- bzw. Styrolbasis gehören das **schlagfeste Polystyrol** (SB), Styrol-Butadien-Polymerisat; die **SAN-Kunststoffe** (z. B. Luran), Styrol-Acrylnitril-Polymere; die **ASA-Kunststoffe** (z. B. Luran S), Acrylester-Styrol-Acrylnitril-Polymere; und die **ABS-Kunststoffe** (z. B. Cycolac, Terluran, Novodur, Vestodur), Acrylnitril-Butadien-Styrol-Polymere.

Eigenschaften

Dichte:	1,05 g/cm³	
spezifischer Widerstand:	$10^{14}\ \Omega \cdot$ cm	
Durchschlagsfestigkeit:	20...40 kV/mm	
zulässige Dauertemperatur:	etwa 80 °C (max. 100 °C)	
Erweichungstemperatur:	etwa 140 °C	$\varepsilon = 2...4$
Zugfestigkeit:	etwa 45 N/mm²	$\tan\delta = 1 \cdot 10^{-2}...5 \cdot 10^{-3}$

© Holland + Josenhans

Polystyrol und Mischpolymerisate sind Thermoplaste. Polystyrol ist glasklar, kann aber auch gefärbt werden. Es ist ziemlich hart und spröde. Polystyrol mit Kautschuk-Beimischung, Mischpolymerisat, ist nicht so spröde und damit schlagfester; es kann aber nicht glasklar, sondern nur leicht gelblich hergestellt werden (ABS-Kunststoffe).

Polystyrol nimmt kein Wasser auf, zeigt keine Alterungserscheinungen und wird von Säuren und Laugen sowie von Alkohol und Öl nicht angegriffen. Benzin, Benzol, Aceton, Ether und Toluol (Lackverdünnungsmittel) lösen den Werkstoff. UV-Licht bewirkt eine Veränderung der Farbe und eine Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften (Versprödung); ABS-Kunststoffe haben diese Nachteile nicht.

Ab etwa 140 °C kann man Polystyrol und die Mischpolymerisate leicht spanlos verformen. Spanabhebende Bearbeitung ist gut möglich. Verbindungen können durch Schweißen oder Kleben hergestellt werden.

ABS-Kunststoffe können galvanisch mit Metallüberzügen versehen werden. Bevor das Metall galvanisch aufgebracht werden kann, muß die Oberfläche des Kunststoffs aufgerauht werden, so daß sich zunächst eine chemisch aufzubringende Kupferschicht fest verankern läßt. Auf diesem jetzt entstandenen Verbundwerkstoff mit elektrisch leitender Oberfläche werden z. B. Nickel-, Chrom-, Silber- oder Goldüberzüge aufgalvanisiert. So behandelte Kunststoffteile sind optisch von echtem Metall nicht zu unterscheiden.

Polystyrol und Mischpolymerisate brennen mit gelber, stark rußender Flamme und einem unangenehm süßlichen Geruch.

Läßt man Polystyrol fallen, so entsteht ein blechern scheppernder Klang.

Verwendung

Wegen der guten elektrischen Isolation und der guten mechanischen Eigenschaften werden Polystyrol und die Mischpolymerisate in der Elektrotechnik häufig als Werkstoff verwendet. Außer zur Isolation von Kabeln dienen sie zur Herstellung von Schaltern, Lampenfassungen, Röhrensockeln, Spulenkörpern, Gehäusen für Rundfunkgeräte, Handfunksprechgeräte, Bügeleisen, Antennenteile, elektrische Küchenuhren, Warnleuchten, Druckknopftastenschalter, Fernsprechapparate, Akkumulatorengehäuse u. dgl. In Koaxialkabeln werden häufig Polystyrolringe als Abstandshalter verwendet.

Auf Platten aus Polystyrol, die mit einem Metallüberzug versehen sind, kann auch gelötet werden.

Mit Metallüberzügen versehene ABS-Kunststoffe werden z. B. für Mikrofongehäuse, Scheinwerfer- und Rückspiegelgehäuse, Schriftzüge auf Autos, Griffe, Drehknöpfe, Verkleidungen bei Automobilen, Haushalts- und Phonogeräten verwendet.

Folie aus Polystyrol dient als Dielektrikum für Kondensatoren (Styrolflexkondensatoren), zur Umhüllung von Kabeln, als Verpackungsfolie sowie als Kaschierfolie (Überzug) auf Holz- oder Kunststoffflächen.

© Holland + Josenhans

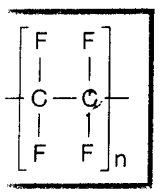
n, Dübel, Befestigungsclips, Federn, Schnappverbinder, Legoteile, Zahnräder (bis
1 mm ∅) und Riemenscheiben. In der Kfz-Technik werden viele Einzelteile und
ugruppen aufgrund der Beständigkeit gegen Kraft- und Betriebsstoffe aus POM ge-
tigt.

.7 Polytetrafluorethylen (PTFE)

ndelsnamen: Algoflon, Fluon, Hostafan, Hostaflon, Mikrolon, Soreflon, Teflon

erstellung

s Fluorethylen ($CF_2 = CF_2$) entsteht durch Polymerisation das Kunstharz Polytetra-
orethylen. Fluorethylen kann z. B. aus Chloroform ($CHCl_3$) und Flußsäure (HF) über
ne Salzsäureabspaltung hergestellt werden.



Ähnlich wie Polytetrafluorethylen wird das fluorierte Ethylen-Propylen hergestellt, das meist mit FEP bezeichnet wird. FEP besitzt auch etwa die gleichen Eigenschaften wie PTFE und wird auf denselben Gebieten eingesetzt.

genschaften

chte:	2,1...2,3 g/cm³
ezifischer Widerstand:	$>10^{15}\ \Omega \cdot$ cm
rchschlagsfestigkeit:	etwa 40 kV/mm, Folien bis 100 kV/mm
uertemperatur:	–200 °C ...+250 °C
hmelzpunkt:	etwa 330 °C
gfestigkeit:	15...30 N/mm²
hnung:	100 ... > 600 %

: 2
n $\delta = <1 \cdot 10^{-4}$

elektrizitätskonstante und dielektrischer Verlustfaktor sind von 50...10^8 Hz konstant.)

FE zählt zu den Thermoplasten, ohne jedoch eine flüssige Phase zu besitzen. Der
iverförmige Werkstoff wird, je nach der späteren Verwendung, durch Sintern, Pres-
n mit anschließendem Sintern oder in Extrudern verarbeitet. FEP jedoch ist ein ech-
Thermoplast und kann nach allen thermoplastischen Verfahren verarbeitet wer-
n.

rch Einlagern von Leitpigmenten wird das Material vollkommen antistatisch. Je
ch dem Anteil der Leitpigmente können der spezifische elektrische Widerstand
auf 10^3... $10^4\ \Omega \cdot$ cm und der Oberflächenwiderstand auf $10^3\ \Omega$ verringert werden.

© Holland + Josenhans

brennbar (bei Überhitzung entstehen gesundheitsschädliche Fluorwasserstoffe), nimmt absolut keine Feuchtigkeit auf und besitzt eine sehr gute Witterungsbeständigkeit. PTFE ist zäh, verschleißfest, flexibel und hat gute Gleiteigenschaften.

Fast alle bekannten Chemikalien greifen PTFE nicht an. Nur flüssige Alkalimetalle, Fluor und einige Fluorverbindungen lösen den Werkstoff.

PTFE kann leicht spanabhebend bearbeitet werden. Schweißen ist mit ≦0,1 mm dicken PTFE-Folien als Zwischenlage bei ca. 350 °C gut möglich (HF-Schweißen). Speziell modifizierte PTFE-Typen können heute auch direkt geschweißt werden. Mit PTFE-Dispersionen (wäßrig, 50 % Körperanteil) beschichtete Gewebe (Beschichtung durch Tauchen) können ebenfalls direkt verschweißt werden. Nach einer besonderen Oberflächenbehandlung (mit flüssigem Natrium) können Klebeverbindungen hergestellt werden. Auf der Oberfläche können durch galvanische Verfahren Metallschichten (einige µm...2 mm dick) aufgebracht werden, auf denen auch gelötet werden kann.

Durch Zusätze von Glasfasern, Quarz, Grafit, Carbonfasern, Molybdänsulfid, Glimmer, Aluminiumoxid, Flußspat (CaF_6) oder Kupferlegierungen können die Eigenschaften bestimmten Anforderungen angepaßt werden, ohne daß sich die Grundeigenschaften wesentlich ändern. Aus diesem durch Sintern hergestellten Material, sog. Compounds, können auch Folien abgeschält werden.

Durch Einlagern von Eisenpulver (weichmagnetisch) in PTFE können flexible magnetische Abschirmungen oder auch Kerne für HF-Spulen hergestellt werden.

PTFE-Mikropulver, Korngröße < 10 µm, wird Druckfarben, vielen Schmierstoffen und Beschichtungssystemen zur Verbesserung der Gleit- und Antihafteigenschaften zugesetzt (Verbesserung des Verschleißverhaltens).

PTFE brennt und verkohlt nicht; bei Rotglut entsteht ein stechender Geruch nach Flußsäure.

Verwendung

In der Elektrotechnik sind PTFE-Werkstoffe wegen ihrer sehr guten elektrischen, mechanischen, chemischen und thermischen Eigenschaften heute unentbehrliche Isoliermaterialien. PTFE wird verwendet für viele Isolier-Formteile, Röhrensockel, Spulenkörper, Kristallhalter, als hitze- und korrosionsbeständige Draht- und Kabelisolation (beim Weichlöten schmilzt die Isolation nicht) und in Koaxialkabeln. Als kupferbeschichtete Platten oder Folien dient es für gedruckte Schaltungen als Basismaterial. Es wird dabei oft mit Glasfasern verstärkt.

PTFE-Folien dienen zur Isolation von Wicklungen und (mit Aluminium bedampft) zur Herstellung von Kondensatoren sowie als lichtdurchlässige hagelfeste Dachfolie.

Auch viele andere Industriezweige verwenden Polytetrafluorethylen. Gleitlagerbüchsen aus PTFE, teilweise mit Glimmerpulver als Füllstoff (Handelsname u. a. Fluorosint), besitzen auch bei hohen Flächendrücken eine sehr niedrige Reibungszahl und kommen praktisch ohne Schmierung aus. Durch Einsintern von Geweben aus Kupferlegierungen in PTFE-Folien können trockenlaufende Lager mit sehr hohen Druckbe-

© Holland + Josenhans

Polypropylen ist leichtfließend, bei der Verarbeitung mit Spritzgußverfahren können sehr dünnwandige Teile hergestellt werden.

PP kann gut spanlos und spanabhebend bearbeitet werden. Bei Temperaturen unter 0 °C läßt die Zähigkeit nach. Die Oberfläche kann nach entsprechender Vorbehandlung galvanisch metallisiert werden. Verbindungen werden durch Schweißen oder Kleben hergestellt.

PP-Altteile werden beim Recycling granuliert und wieder als Rohstoff dem Fertigungsprozeß zugeführt.

Polypropylen brennt mit schwach leuchtender Flamme und tropft ab, es entsteht ein harzartiger Geruch.

Verwendung

In der Elektrotechnik verwendet man Polypropylen für Installationsteile, Spulenkörper, Kupplungen, Antennenhalterungen, Abstandsisolatoren, Gehäuse (z. B. für Batterien) und Zubehörteile für elektrische Geräte. PP-Folien dienen als Dielektrikum bei Kondensatoren für hohe Spannungen (Foliendicke $< 5...10\,\mu m$). Bei der Verwendung z. B. in Küchen- und Waschmaschinen wird das PP jeweils besonders gegen den Angriff von Fruchtsäuren, Waschlaugen usw. stabilisiert.

Bei der Herstellung von Chassis aus geschäumtem Polypropylen können Baugruppen und Bauteile ihren Konturen entsprechend formschlüssig eingebettet werden. Zusätzliche Fixierungen durch diskrete lösbare oder nichtlösbare Verbindungstechniken sind nicht erforderlich. Chassis aus EPP ermöglichen eine schnelle Montage, Stöße und Vibrationen werden vom Material des Chassis absorbiert.

Aus Polypropylen werden außerdem u. a. Arzneimittelbehälter, Automobilteile (Armaturentafeln, Konsolen, Türverkleidungen, Stoßstangen, Griffe usw.), Haushaltsgeräte (Gehäuse für Staubsauger, Bügeleisen u. dgl.), Haushaltsartikel, Gartenmöbel, Pumpengehäuse, Gehäuse für Bohrmaschinen sowie Folien, Garn einschließlich Gewebe und Seile, Rohrleitungen, Schläuche, Textilspulen, Klebebänder mit hoher Reißfestigkeit und Schuhabsätze hergestellt. Je nach Verwendung wird das Material auch UV-stabilisiert geliefert.

7.6 Polyacetale (POM)

Handelsnamen: Delrin, Hostaform, Kematal

Herstellung

Durch Polymerisation von Grundbausteinen auf Formaldehydbasis ($-CH_2-O-$) mit geringen Zusatzkomponenten entstehen unter Anwesenheit von Katalysatoren Polyacetale, die als Granulat zur Weiterverarbeitung kommen. Acetal-Hochpolymere sind meist Copolymerisate.

© Holland + Josenhans

Eigenschaften

Dichte:	$1{,}4\ g/cm^3$
Spezifischer Widerstand:	$10^{15}\ \Omega \cdot cm$
Durchschlagsfestigkeit:	70 kV/mm
Dauertemperatur:	$-40\,°C ... +100\,°C$ (kurzzeitig bis 150 °C)
Zugfestigkeit:	etwa $70\ N/mm^2$
Dehnung:	etwa 10...100 %

$\varepsilon = 4$
$\tan \delta = 1 \cdot 10^{-3} ... 5 \cdot 10^{-3}$

Polyacetale sind Thermoplaste. Sie haben eine wachsartige Oberfläche, sind durchscheinend weiß, können jedoch beliebig gefärbt werden und sind gasdicht.

Durch Zugabe von Ruß bei der Verarbeitung mit Spritzgußverfahren können elektrisch leitfähige Polyacetale hergestellt werden.

Polyacetale sind abriebfest, hart und haben eine gute Festigkeit, Gleitfähigkeit, Härte, Steifigkeit und Schlagzähigkeit, sie sind schwingungsdämpfend und besitzen gute Federeigenschaften. Durch Verstärkung mit Glasfasern oder Glaskugeln können die mechanischen Eigenschaften, besonders die Steifigkeit und Härte, noch verbessert werden.

Polyacetale sind physiologisch verträglich, alterungsbeständig und beständig gegen organische Lösungsmittel und Laugen; konzentrierte Säuren greifen an.

Bei der spanabhebenden Bearbeitung soll möglichst mit hoher Schnittgeschwindigkeit bei kleinem Vorschub gearbeitet werden; Kühlung ist nicht erforderlich. Spanlose Verformungen sind bei 150...200 °C gut möglich. Spritzgußteile haben eine hohe Maßgenauigkeit und erfordern keine Nacharbeit. Metallteile können mit eingespritzt werden (Outsert-Technik).

Die Oberfläche der Polyacetale kann u. a. für dekorative Zwecke bedruckt, lackiert, geprägt oder durch Aufdampfen metallisiert werden. Verbindungen werden durch Schweißen, einschließlich Ultraschall oder Kleben, hergestellt. HF-Schweißungen sind jedoch wegen des niedrigen dielektrischen Verlustfaktors nicht möglich. Klebeverbindungen erreichen nicht die Festigkeit des vollen Materials.

Polyacetale brennen mit farbloser Flamme und riechen nach dem Verlöschen stechend nach Formaldehyd.

Verwendung

Aus Polyacetalen werden in der Elektrotechnik Präzisionsteile (einschließlich Isolierteile) für Audio- und Viedeogeräte, Funktionsgruppen in elektrischen Steuergeräten sowie Teile im Telefonbau wie Nummernschalter und Relais sowie Umhüllungen für Lichtwellenleiter hergestellt. Außerdem bestehen z. B. aus Polyacetalen: Gehäuse, Konstruktionsteile in Computern, Diaprojektoren, Nähmaschinen, Haushalts-, Geschirrspül- und Waschmaschinen, Pumpen, Magnetventilen, Wasserzählern und Sanitäreinrichtungen, Autozubehör (Hebel, Griffe u. dgl.), Schreibgeräte sowie Rol-

© Holland + Josenhans

Hochmolekulares Niederdruck-Polyethylen ist beständig gegen Säuren, Laugen und aggressive Gase, es besitzt sehr gute Gleiteigenschaften und zeigt auch bei hoher Druckbelastung nur geringe Reibung und Verschleiß. Es sind Dauergebrauchstemperaturen bis –250 °C möglich. Die Verarbeitung erfolgt durch Spritzgießen, Extrudern oder Pressen und Sintern. Gesinterte Teile sind porös.

Polyethylen brennt mit bläulicher Flamme, es riecht nach Kerzenqualm und schmilzt. Tropfen brennen im Fallen weiter.

Vernetztes Polyethylen ist ein Duroplast, jedoch mit thermoelastischen Eigenschaften, d. h. VPE ist nicht schmelzbar, jedoch in der Wärme verformbar. Die Flexibilität sowie die elektrischen und chemischen Eigenschaften von thermoplastischem PE bleiben beim VPE erhalten.

Verwendung

Wegen seiner guten elektrischen Isolation, auch bei hohen Frequenzen, eignet sich Polyethylen als Isolierwerkstoff in der Elektrotechnik. Es dient als Aderisolation, als Isolation von Hochspannungskabeln (bis 30 kV), Fernsprech- und Fernsehkabeln sowie als Ersatz des Bleimantels bei den bleimantellosen Kunststoffkabeln. Aus Polyethylen stellt man weiterhin u. a. her: Teile für Tastensätze, Stecker und Kupplungen, Relaisteile, Bedienungsknöpfe, Kabelschellen, Isolier- und Konstruktionsteile in HF-Leistungsschaltern, Abdeckungen und Gehäuse sowie Spulenkörper.

Polyethylen findet wegen seiner sonstigen guten Eigenschaften weiterhin Verwendung für Haushaltsartikel (Eimer, Geschirr, Flaschen), Kanister einschl. Benzintanks, Flaschenkästen, Verpackungsfolien (Frischhaltebeutel), Kanalrohre und Trinkwasserleitungen.

Polyethylenpulver (nach dem Aufbringen in Wärme geschmolzen) dient als Oberflächenschutz bei Metallen, Glas oder Keramik; der Auftrag des Pulvers erfolgt meist durch Wirbelsintern. Durch Tauchen oder Spritzen in bzw. von flüssigem Polyethylen können ebenfalls Überzüge hergestellt werden.

Vernetztes Polyethylen wird meist mit Füllstoffen (z. B. Ruß) zur Isolation von Nieder- und Hochspannungskabeln sowie zur Herstellung von Flüssigkeitsbehältern und Formteilen besonders in der chemischen Industrie verwendet. Schaumstoff aus VPE dient für elektrische und thermische Isolationen sowie zur Herstellung von Schuhsohlen.

Bei Wärme gedehnte Polyolefinschläuche bleiben durch das Einfrieren von Spannungen im abgekühlten Zustand im Durchmesser gedehnt. Bei erneuter Erwärmung erhöht sich die Beweglichkeit der Kunststoffe so, daß die eingefrorenen Spannungen das Teil auf sein ursprüngliches Herstellungsmaß schrumpfen lassen (Herstellung von Schrumpfverbindungen bei Kabelmänteln).

Hochmolekulares Niederdruck-Polyethylen wird für auf Abrieb beanspruchte Teile im Maschinenbau eingesetzt (u. a. Laufrollen, Ventile, Schieber, Führungsschienen von z. B. Transportbändern, Dichtungen, Lagerschalen, Zahnräder und Ketten). Die Beständigkeit des Materials gegen korrosive Medien und Chemikalien ermöglicht die Verwendung in der chemischen Industrie, einschließlich Lebensmittelindustrie. Die

© Holland + Josenhans

noch vorhandenen guten Festigkeits- und Gleiteigenschaften bei tiefen Temperaturen begründen die Verwendung in der Tiefkühltechnik für u. a. Dichtungen, Kolbenringe und Manschetten in Pumpen für z. B. flüssiges Helium (–269 °C). In der Elektrotechnik dient hochmolekulares Niederdruck-Polyethylen wegen der niedrigen dielektrischen Verluste bei hohen Frequenzen zur Herstellung von im Hoch- und Höchstfrequenzbereich verwendeten Isolierteilen. Gesinterte Teile werden aufgrund ihrer porösen Struktur u. a. als Filter (Gase, Staub, Flüssigkeiten) und als Depots für Schmierstoffe, Duftstoffe oder Tinte verwendet.

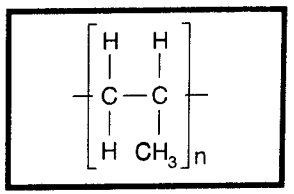
7.5 Polypropylen (PP)

Handelsnamen: Hostacom, Hostalen PP, Luparen, Novolen, Vestolen

Herstellung

Polypropylen gehört wie Polyethylen zur Gruppe der Polyolefine. Polypropylen wird durch Polymerisation von Propylen (C_3H_6) unter Anwesenheit von Katalysatoren in einem Niederdruckverfahren hergestellt.

Außer als Basistyp wird Polypropylen in vielfältigen Modifikationen u. a. als geschäumtes Polypropylen (EPP), maßgeschneidert angepaßt an den jeweiligen Anwendungsbereich, hergestellt.



Eigenschaften

Dichte:	0,9 g/cm^3
Spezifischer Widerstand:	etwa 10^{17} Ω · cm
Durchschlagsfestigkeit:	70 kV/mm
Zulässige Dauertemperatur:	100 °C (kurzzeitig bis 150 °C)
Zugfestigkeit:	etwa 30 N/mm^2
Reißdehnung:	etwa 600 %

$\varepsilon = 2{,}5$
$\tan \delta = 2 \cdot 10^{-4} \ldots 5 \cdot 10^{-4}$

Polypropylen ist ein Thermoplast. PP ist transparent, wird jedoch meist gefärbt.

Polypropylen kann in brillanten Farbtönen und mit hoher Oberflächengüte hergestellt werden, es nimmt praktisch kein Wasser auf, ist elastisch und zäh und kann in den chemischen Eigenschaften mit Weich-Polyethylen verglichen werden. Mit Füllstoffen (Kreide, Talkum, Glasfasern oder Glaskugeln) verstärktes Polypropylen ist schwingungsfest, schwingungs- und schalldämpfend, maßgenau, verzugsfrei, bei Wärme formstabil und temperaturwechselbeständig (< 100 °C). Es besitzt bessere mechanische Eigenschaften als unverstärktes PP.

© Holland + Josenhans

Eigenschaften

Beide Kunststoffe sind Thermoplaste. Sie können durchsichtig oder farbig hergestellt werden.

Zelluloseacetat ist schlag- und stoßfest. Es kann bei etwa 80 °C gut verformt werden. Spanabhebende Bearbeitung ist ohne Schwierigkeiten möglich.

Benzin, Benzol und Mineralöl greifen nicht an. Feuchtigkeit wirkt quellend.

Zelluloseacetat ist schwer entflammbar, es brennt mit gelblicher Flamme, schmilzt und riecht nach Essig.

Zelluloseacetobutyrat ist wärme- und feuchtigkeitsbeständiger, es besitzt eine etwas höhere mechanische Festigkeit und ist hornartig hart.

Es brennt mit dunkelgelber, sprühender Flamme, riecht nach ranziger Butter oder verbranntem Papier, schmilzt und tropft ab.

Verwendung

In der Elektrotechnik dienten vor allem Folien als Isoliermaterial und als Dielektrikum von Kondensatoren. Aus Spritzgußmassen wurden zum Teil Schaltknöpfe hergestellt.

Weitere Anwendung fanden diese Kunststoffe als Autolenkräder, Werkzeuggriffe, Beschläge, Brillengestelle, Schreibmaschinentasten, Griffe, Füllfederhalter, Gehäuse, Abdeckungen für Leuchten, Verpackungen usw.

In allen Anwendungsbereichen wurden CA und CAB weitgehend durch vollsynthetische Kunststoffe ersetzt.

7.3 Kunsthorn

Handelsname: Galalith

Kunsthorn ist einer der ältesten Kunststoffe, hat aber als Werkstoff in der Elektrotechnik keine Bedeutung.

Ausgangsmaterialien sind Kasein, enthalten in Magermilch, und Formaldehyd. Durch ein Polykondensationsverfahren entsteht Kunsthorn.

Kunsthorn ist chemisch beständig. Ab etwa 100 °C kann es begrenzt warmverformt werden. Zur spanabhebenden Bearbeitung sind Hartmetallwerkzeuge erforderlich.

Kunsthorn brennt nicht, beim Erhitzen riecht es nach Horn.

Kunsthorn findet u. a. für Knöpfe, Griffe und Schnallen Verwendung.

Vulkanfiber, Zellglas, Zellulose-Ester und Kunsthorn sind abgewandelte Naturstoffe.

Die nachfolgend aufgeführten Werkstoffe sind vollsynthetische Kunststoffe.

© Holland + Josenhans

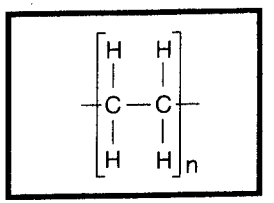
7.4 Polyethylen (PE)

Handelsnamen: Hostalen, Hostalen GUR, Lupolen, Trolen H, Vestolen

Herstellung

Polyethylen gehört in die Gruppe der sog. Polyolefine und wird durch Polymerisation von Ethylengas (C_2H_4) hergestellt. Die Polymerisation erfolgt entweder in einem Hochdruckverfahren bei etwa 20 000 N/cm² oder unter Anwesenheit bestimmter Katalysatoren in einem Niederdruckverfahren. Beim ersten Verfahren entsteht Weich-Polyethylen, beim zweiten Verfahren erhält man das wärmebeständigere und festere Hart-Polyethylen. Ultrahochmolekulares Niederdruck-Polyethylen (Molekulargewicht bis $>5\,000\,000$ PE-UHMW) ist ein Werkstoff mit sehr guten mechanischen und thermischen Eigenschaften.

Bei beiden Herstellungsverfahren fällt das Polyethylen als viskose (zähe) Flüssigkeit an. Nach dem Erkalten wird die erstarrte Flüssigkeit zerkleinert und nach den verschiedenen thermoplastischen Verfahren weiterverarbeitet.



Durch Zugabe von bestimmten Härtern kann vernetztes Polyethylen (VPE) hergestellt werden.

Eigenschaften

Dichte:	etwa 0,95 g/cm³
Spezifischer Widerstand:	$10^{15}...10^{17}\ \Omega \cdot$ cm
Durchschlagsfestigkeit:	bis 90 kV/mm
Zulässige Dauertemperatur:	100 °C Hart-PE, 80 °C Weich-PE
Erweichungstemperatur:	140 °C Hart-PE, 110 °C Weich-PE
Zugfestigkeit:	bis 30 N/mm² Hart-PE, 10 N/mm² Weich-PE
Reißdehnung:	bis 500 %

$\varepsilon = 2{,}5$
$\tan \delta = 2 \cdot 10^{-4}$

Polyethylen ist ein Thermoplast.

Es hat eine durchscheinende, milchige Farbe, kann aber auch gefärbt werden. Bei Weich-Polyethylen ist die Oberfläche meist matt, bei Hart-Polyethylen glänzender.

Polyethylen ist wetterfest; es nimmt kein Wasser auf, Säuren, Laugen und Lösungsmittel greifen bei Raumtemperatur nicht an. Fette und Öle wirken vor allem bei Wärme quellend.

Der Kunststoff kann sehr gut spanabhebend und spanlos bearbeitet werden. Auch bei tiefen Temperaturen (unter –50 °C) bleiben die mechanischen Festigkeitseigenschaften erhalten. Verbindungen aus Polyethylen werden mit Heißluft oder mit einem Lötkolben geschweißt. Durch Kleben hergestellte Verbindungen haben nur schlechte Festigkeit.

© Holland + Josenhans