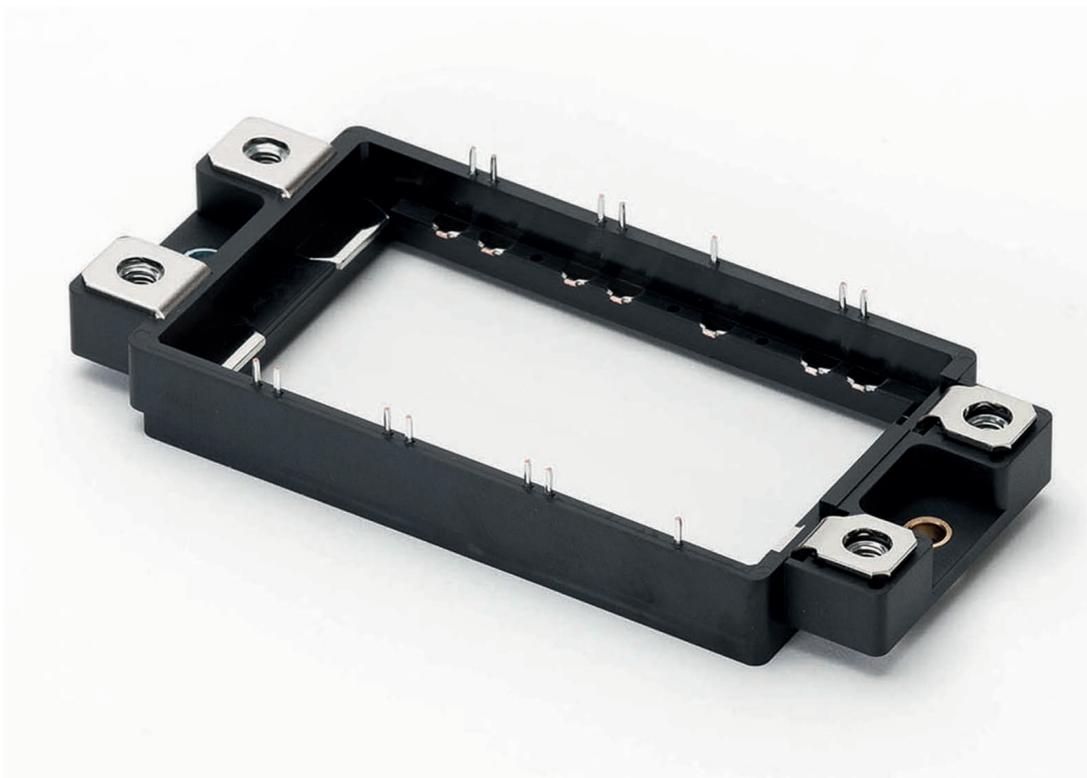


Immun gegenüber Kriechströmen

Toray entwickelt PPS mit CTI-Stufe 0 für Anwendungen bis 600 Volt

Durch eine patentierte Kunststofflegierung auf Basis von Nanotechnologie entstehen PPS-Compounds, die auch bei hohen Spannungen kriechstromfest sind. Sie beugen der gefürchteten Verkohlung und damit einem Kurzschluss vor. Das PPS eignet sich insbesondere für Hochvoltanwendungen in Elektrofahrzeugen.



Aufgrund seiner guten Steifigkeit und seines hohen Schmelzpunkts werden elektrische und elektronische Bauteile oft mit PPS umspritzt oder eingerahmt (© Toray)

Manche Dinge dauern länger, beispielsweise die Entwicklung von Polyphenylsulfid (PPS). Erstmals 1880 synthetisiert ließ es sich erst 1970, fast hundert Jahre später, großtechnisch herstellen. Heute gilt PPS als Hochleistungswerkstoff unter den Kunststoffen. Es bietet Eigenschaften, die andere Kunststoffe nicht erreichen: etwa eine schwere Entflammbarkeit ganz ohne Additive oder einen sehr hohen Schmelzpunkt bei 280 °C. Die elektrische Leitfähigkeit lässt sich über Additive variieren, der spezifische Volumenwiderstand kann zwischen 1 Ω und 10¹⁵ Ω betragen. Ebenfalls variabel ist die thermische Leitfähigkeit.

Rahmen für Elektronikbauteile

Das sind ideale Voraussetzungen für den Einsatz in Elektrofahrzeugen. PPS der Marke Torelina von der Toray Industries Inc., Tokio/Japan, kommen bereits in zahlreichen Anwendungen zum Einsatz. Zum Beispiel in elektrischen Antriebsmotoren, wo PPS in Bauteilen wie Schaltringen, Stromsensoren und weiteren Komponenten verwendet wird. Des Weiteren findet sich Torelina sowohl in Pumpen für die Wasserkühlung von Batterien als auch am Verbrennungsmotor.

PPS wird für Rahmen zur Aufnahme von Elektronik eingesetzt (Titelbild).

Diese enthalten Leiterbahnen, die mit dem PPS umspritzt werden, der Kunststoff dient als Isolator. Weil die Leiterbahnen immer näher zusammenrücken und die Spannungen der Bordnetze von 12 V bei Verbrennungsmotoren auf einige 100 V bei reinen Elektrofahrzeugen ansteigen werden, ist die Isolierung auch bei hohen Temperaturen sehr wichtig.

Isolierleistung wird als Durchschlagfestigkeit (kV/mm) bezeichnet. Sie gibt an, ob es zwischen zwei stromführenden Leitern zu einem Durchschlag durch das Isolatormaterial kommt. PPS hat auch bei hohen Temperaturen eine hohe Durchschlagfestigkeit, sodass die Leiterbah-

nen dicht aneinander platziert werden können und eine kompakte Bauweise möglich ist.

Durch miniaturisierte Bauweisen rückt jedoch noch eine weitere Gefahr in den Vordergrund: der Kriechstrom an der Oberfläche der Bauteile. Die Durchschlagsfestigkeit ist nicht zu verwechseln mit der Kriechstromfestigkeit.

Teufelskreis aus Kriechstrom und Carbonisierung

Die Kriechstromfestigkeit wird durch einen standardisierten Test nach UL746A gemessen und in CTI Stufen eingeteilt. Der Teststand besteht aus zwei Platinelektroden im Abstand von vier Millimetern, die auf die PPS-Probe platziert werden. Alle 30 s wird auf die Stelle ein Tropfen einer stark verdünnten wässrigen NH₄Cl-Lösung aufgetropft. Die Elektrolytlösung soll eine nasse Oberfläche geringer Ionenleitfähigkeit nachbilden. Währenddessen wird eine Wechselspannung angelegt, die in Schritten von 25 V von 0 bis 600 V erhöht wird, bis es zum Kurzschluss kommt. Diese Spannung gibt nach der Norm UL746A die CTI-Stufe an. Die Stufen reichen von Stufe 5 (0 bis 100 V) bis herunter zu Stufe 0 (≥ 600 V). Je niedriger

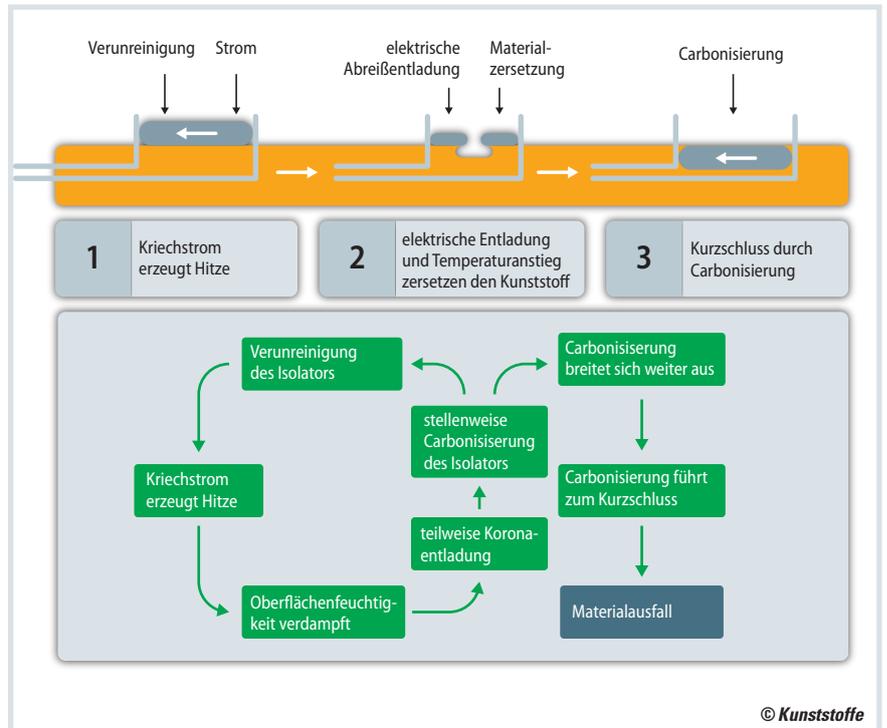


Bild 1. Bei hohen Temperaturen kann das eigentlich isolierende Polymer punktuell carbonisieren. Bildet sich ein durchgängiger Verkohlungspfad, kommt es zum Kurzschluss am Bauteil (Quelle: Toray)

die Stufe, desto besser die Kriechstromfestigkeit.

Der Mechanismus dahinter ist tückisch. Tropft Flüssigkeit, zum Beispiel kondensierte Luftfeuchte, auf eine Stelle zwischen zwei stromführenden Leitungen, fließt dort ein kleiner Strom (Kriechstrom). Dieser Strom stellt unmittelbar noch keine Gefahr dar, vor allem solange Feuchte verdampft und die Stelle kühlt. Fällt diese Kühlung weg, und es kommt zu einer lokalen Austrocknung, kann es an kleinen Flächen zu elektrischen Abreißentladungen und einem starken Temperaturanstieg kommen. Dadurch kann wiederum das PPS lokal verkohlen (Carbonisierung), sodass der elektrische Widerstand lokal sinkt (**Bild 1**). Es kommt ein gefährlicher Kreislauf in Gang: Immer mehr Material an der Oberfläche verkohlt und bildet irgendwann einen durchgängigen Verkohlungspfad – bis es zum Kurzschluss kommt. PPS carbonisiert erst bei 500 °C, doch diese Temperatur kann in elektrischen und elektronischen Bauteilen kleinflächig durchaus erreicht werden.

Das Polymer zeigt dabei seine zwei Gesichter. Das Monomer von PPS ist ein Benzenring mit einem Schwefelatom, welches bei der Polymerisierung lange Ketten bildet. Die hohe Dichte an Benzenringen macht den Werkstoff sehr

schwer entflammbar. Die vielen Kohlenstoffatome in den Benzenringen haben aber den Nachteil, dass das Molekül carbonisieren kann, also Ruß aus reinem Kohlenstoff bildet.

Chancen und Grenzen von Füllstoffen als Wärmeleiter

Seit Langem gibt es Bemühungen, diese Carbonisierung bei PPS zu reduzieren und damit die Kriechstromfestigkeit zu steigern. Das geht mit mineralischen Füllstoffen, die eine hohe Wärmeleitfähigkeit haben und die Wärme, hervorgerufen durch Kriechströme, auf der Oberfläche ins Innere des Werkstoffs ableiten. Außerdem kann man PPS mit anderen Polymeren mischen, um die Zahl der Benzenringe zu reduzieren. Doch diese Strategien haben Grenzen, ein Comparative Tracking Index (CTI) Stufe 0 lässt sich damit nicht erreichen. Üblich in heutigen Fahrzeugen ist eine CTI-Stufe von drei oder vier, was maximal 250 V entspricht. Für kompakte Leistungselektronikmodule in künftigen Elektroautos mit hoher Leistung reicht das allerdings nicht aus. Dort wird CTI-Stufe 0 gefordert, was 600 V entspricht. In Modulen, die dies erfüllen, können die Stromschienen noch enger zusammenrücken

Die Autoren

René Krämer ist seit 2017 Business Development Manager, und **Christian Schirmer** ist seit 2015 Sales Manager. Beide sind bei der Toray Resins Europe in Neulsenburg tätig;
kraemer@toray-resins.eu
schirmer@toray-resins.eu

Service

Digitalversion

➤ Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2019-07

English Version

➤ Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

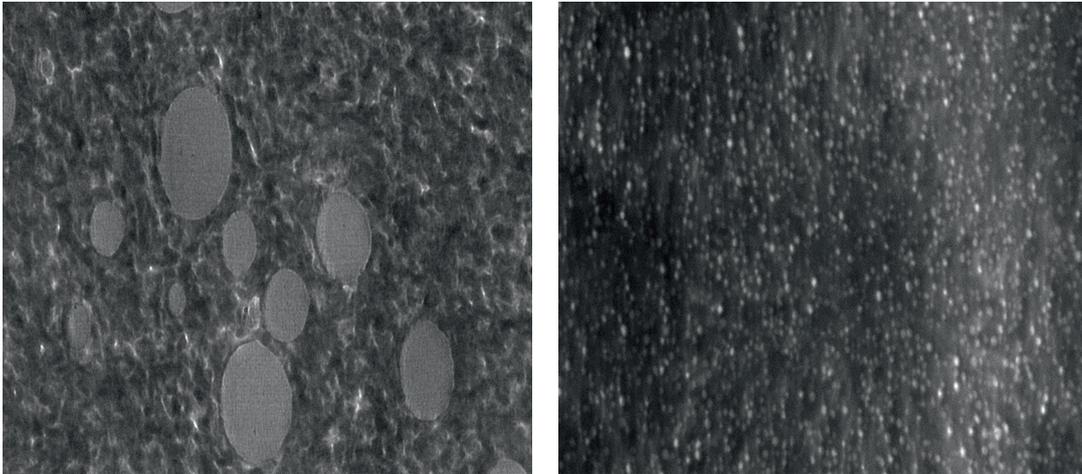


Bild 2. Bei einem PPS mit Nanoalloy (rechts) ist die Dispersion der Polymerkomponenten feiner als bei herkömmlichem PPS (links)

(© Toray)

und somit kompakter konstruiert werden. Bei Standard-PPS-Werkstoffen liegt die Kriechstromfestigkeit im Bereich 125 V bis 150 V.

Mit seinem unternehmenseigenen Verfahren namens Nanoalloy ist es Toray nun gelungen, PPS mit CTI-Index 0 herzustellen (siehe Infokasten). Um dies zu überprüfen, hat das Toray-Labor Materialproben nach den Prüfverfahren der UL-Norm ausgeführt. Nur mit Nanoalloy hergestelltes PPS erreicht diese beste Einstufung. Das CTI-0-Material mit dem Produktnamen A660HVB ist kommerziell im Einsatz und sowohl nach UL746 als auch IEC 60112 geprüft.

Grundlage dafür waren zunächst bewährte Methoden: Auch Toray gibt dem PPS ein funktionales Füllmittel zu, das Hitze absorbiert und ableitet, um die Degeneration des Kunststoffes zu vermeiden. Bei dem unternehmenseigenen Verfahren werden zwei Polymere dispergiert, wobei der massenmäßig größere Anteil die Matrix bildet (**Bild 2**). In diese lagern sich nanometerkleine Partikel des massenmäßig geringeren Polymers oder eines anderen, zum Beispiel mineralischen Materials an. Die gezielte Steuerung der Partikelgröße im Nanometerbereich verhindert, dass sich die beiden Phasen beim Spritzgießen wieder entmischen.

Eigenschaften variierbar

Mit Nanoalloy lassen sich auch Eigenschaften wie etwa Elastizität und Temperaturfestigkeit kombinieren. Die Entwickler bei Toray haben zwei Varianten des Materials mit CTI 0 erarbeitet. Das erste hat einen hohen Anteil an mineralischen Füllstoffen, was die Kriechstromfestigkeit

auf CTI 0 bringt. Allerdings reduziert diese Mischung die Dehnfähigkeit. Eine zweite Variante mit anderer Zusammensetzung, die sich zurzeit im Entwicklungsstadium befindet, erreicht bei gleicher CTI 0 eine Dehnfähigkeit bis 1,5 %. Toray plant weitere Varianten mit unterschiedlichen mechanischen und thermischen Eigenschaften. ■

Nanoalloy im Detail

Toray Industries hat das Nanoalloy-Verfahren vor einigen Jahren entwickelt. Der Handelsname deutet an, dass es sich um eine Kunststoffmischung handelt (Alloy = Legierung), in der die Polymerkomponenten in einer sehr feinen Dispersion, nämlich im Nanometermaßstab, vermischt sind. Untersucht man bisherige Polymerblends wie etwa Polyamid 6 (PA 6) mit Elastomerkomponente unter dem Transmissionselektronenmikroskop, sind die Elastomer-Phasen im PA größer als ein Mikrometer. Bei Nanoalloy sind die Elastomer-Phasen nur etwa 200 nm groß und viel gleichmäßiger im PA verteilt. Dessen Molekülketten tauchen in die Tröpfchen des Elastomers ein und bilden darin Nanometer-Tröpfchen mit einer vielfach größeren Kontaktfläche, was zu neuen Materialeigenschaften führt. Würde man das Elastomer selektiv herausätzen, bliebe eine sehr feine poröse Struktur zurück.

Das patentierte Herstellverfahren eignet sich für unterschiedliche Materialkombinationen. Dafür kommt ein neu entwickelter Twin-Extruder zum Einsatz. In so einem Extruder rotieren zwei parallele Schnecken, was zu einer besseren Durchmischung der beiden Kunststoffe führt, bevor das Gemisch in Form gespritzt wird. Der neue Twin-Extruder ist mit rund zehn Metern ungewöhnlich lang, gleichzeitig sind die beiden Schnecken sehr schlank. Dadurch baut die Anlage höhere Scherkräfte zwischen den Molekülen auf, außerdem ist die Verweilzeit in der Anlage höher. Das führt zur Ausbildung der nanometerkleinen Partikel und zu einer guten Durchmischung. Durch dieses Verfahren können Materialeigenschaften über einen weiten Bereich maßgeschneidert und die Eigenschaften zweier Polymere kombiniert werden.

Interessant für die Automobilindustrie sind Mischungen aus amorphem Polycarbonat und teilkristallinem Polybutylenterephthalat, etwa für Crashedämpfer und Crashboxen, sowie Polyamid und Polyolefin. Die zweite Kombination hat Potenzial dort, wo eine hohe Energieabsorption gefragt ist, etwa in der Ölwanne. Die genauen Eigenschaften werden durch das Mischungsverhältnis sowie durch die Prozessparameter wie die Viskosität beim Durchlaufen des Extruders bestimmt. Außerdem sind die Blends kombinierbar mit Faser-verbundwerkstoffen wie Kohlenstoff- oder Glasfaser.