

Dauerhafter Schutz vor Korrosion

Rohre, Kolonnen und Behälter mit Polytetrafluorethylen auskleiden

Die chemische Industrie setzt bei dauerhaftem Korrosionsschutz auf das Eigenschaftsprofil von vollfluorierten Fluorkunststoffen wie Polytetrafluorethylen (PTFE). Diese widerstehen bei Prozesstemperaturen von über 100°C einem breiten Spektrum an aggressiven Medien. In Kombination mit einem wirtschaftlichen Verarbeitungsprozess wie dem Pastenextrusionsverfahren lassen sich so Rohrleitungen, Schläuche und Kompensatoren sowie Kolonnen und Behälter gegen Korrosion schützen.



Mit PTFE ausgekleidete
Kolonne (Bilder: SGL Group)

Der Korrosionsschutz von Rohren und Behältern hat in der chemischen und pharmazeutischen Industrie einen entscheidenden Einfluss auf die Gesamtbetriebskosten und leistet einen wesentlichen Beitrag zur Anlagensicherheit. Im Vergleich zu den möglichen Alternativen gestattet die Kombination der hohen Festigkeit der Metalle mit der nahezu unbegrenzten Chemikalienbeständigkeit und Temperaturbelastbarkeit von vollfluorierten Fluorpolymeren, insbesondere von PTFE, ein unschlagbares Preis/Leistungsverhältnis für den universellen Einsatz in hochkorrosiven Anwendungen.

Chemieunternehmen prüfen regelmäßig die wahre Leistungsfähigkeit von Korrosionsschutzsystemen. In umfassenden Testreihen vergleichen sie verschiedene Materialien und Verarbeitungsverfahren auf ihre Eigenschaftsprofile und Wirtschaftlichkeit. Ein großer deutscher Spezialchemiehersteller hat sich zum Abschluss der neuesten Untersuchungen auf die beiden Hochleistungswerkstoffe 3M Dyneon PTFE und 3M Dyneon TFM Modified PTFE (im folgenden TFM genannt) der Dyneon GmbH, Teil des Geschäftsbereichs 3M Advanced Materials Division, Neuss, festgelegt.

Vorteile auf einen Blick

PTFE und TFM gehören zur Gruppe der perfluorierten Fluorpolymere und werden in Bezug auf ihr Anwendungsspektrum durch das thermoplastisch verarbeitbare 3M Dyneon Fluoroplastic PFA ergänzt. Alle drei Werkstoffe zeichnen sich durch eine nahezu universelle chemische Beständigkeit aus. Obwohl es sich bei PTFE und TFM bezüglich des chemischen Aufbaus ebenfalls um Thermoplaste handelt, können sie wegen ihrer sehr hohen Schmelzviskosität nur durch spezielle Press- oder Extrusionsverfahren mit ei-

nem nachfolgenden Sinterprozess zu Endprodukten verarbeitet werden. TFM, ein modifiziertes PTFE der 2. Generation, unterscheidet sich von klassischem PTFE durch den zusätzlichen chemischen Modifikator Perfluorpropylvinylether (PPVE). Dessen Molekulargewicht liegt um den Faktor 5 niedriger als bei Standard-PTFE. Dadurch reduziert sich die Viskosität der Polymerschmelze deutlich und die TFM-Partikel verschmelzen leichter zu einem dichten, porenarmen Polymergefüge.

Die leichtere Partikelverschmelzung durch reduzierte Schmelzviskosität verringert den bereits bei PTFE geringen Porengehalt noch weiter um den Faktor 2. Dies verbessert die Barrierewirkung von TFM und senkt die Permeationsrate. Das wiederum kann den Korrosionsschutz gerade bei hohen Prozesstemperaturen erhöhen.

Der sogenannte Stretch Void Index (SVI) nach ISO12086 oder ASTM D4895 ermöglicht einen Hinweis auf den Porengehalt. Er ist ein Maß für die Tendenz zur Bildung zusätzlicher Poren beim Dehnen des Werkstoffs und zeigt somit an, wie gut und vollständig die Koaleszenz der Partikel und der Sinterprozess kleinste Poren eliminiert haben. Ein geringer Porengehalt ist neben der bereits genannten Barrierewirkung auch beim Umformen



Bild 1. Extruderkopf zur Herstellung eines pastenextrudierten Rohrs aus PTFE

wichtig. Insbesondere im Flanschbereich oder bei Rohrstützen ist es erforderlich, das Auskleidungsmaterial umzubördeln, wobei es teilweise starken Dehnvorgängen unterworfen wird und sich Poren vergrößern können. Ein geringer SVI des PTFE garantiert dem Anwender, dass auch im Bereich der Bördel die ursprüngliche Materialdichtigkeit erhalten bleibt. Modifiziertes PTFE bietet hier zusätzliche Sicherheiten (**Tabelle 1**).

Über die bereits genannten Vorteile hinaus hat sich TFM in der chemisch-pharmazeutischen Prozessindustrie vor allem durch eine deutlich reduzierte Deformation unter Last sowie günstiges Rückstellverhalten bei Lastwechseln als Material der ersten Wahl bei hohen Temperaturen und mechanischen Belastungen etabliert. Im Korrosionsschutz kommt der Werkstoff aufgrund der Kombination von breitem Temperatureinsatzbereich (von -200 bis +260°C) und universeller Chemikalienbeständigkeit (**Tabelle 2**) immer häufiger zum Einsatz. Sehr gute Antihaft-, elektrische Isolations- sowie Gleiteigenschaften runden das Profil ergänzend ab.

Kompaktes Gefüge mit hoher Barrierewirkung

Die hervorstechenden Eigenschaften von PTFE-Auskleidungen und -Sonderkonstruktionen, die im Pastenextrusionsverfahren hergestellt werden, sind ihr homogenes, kompaktes Gefüge mit hoher Barrierewirkung gegenüber aggressiven Chemikalien, verbunden mit einer sehr glatten Oberfläche. Dies liegt in den Besonderheiten des Verfahrens begründet: Zunächst wird das in Agglomeratform vorliegende sogenannte E-PTFE (E-PTFE: nach dem Emulsionspolymerisationsverfahren hergestellt) mit einem Naphtha-Derivat versetzt, wodurch alle Zwischenräume sowohl zwischen den Agglomeraten als auch zwischen den Primärkörnern, aus denen sich die Agglomerate zusammensetzen, gefüllt werden. Durch »

Eigenschaft	Prüfmethode	Dyneon PTFE	Dyneon TFM
Dichte*) [g/cm ³]	DIN EN ISO 12086	2,15...2,18	2,15 2,18
Zugfestigkeit bei Raumtemperatur [MPa]	DIN EN ISO 527-3	34 42	35 47
Reißdehnung bei Raumtemperatur [%]	DIN EN ISO 527-3	370470	400 ...625
Querkontraktionszahl (Poisson-Zahl) [-]	DIN EN ISO 527-3	≈ 0,4	≈ 0,4
Zug-E-Modul bei Raumtemperatur [MPa]	DIN EN ISO 527-3	600	630
Stretch Void Index (SVI)	ASTM D 4894	300	60
Schubmodul [MPa]	DIN EN ISO 527-3	550 440	630 504
Deformation unter Last [%] Belastung mit 15 N/mm ² bei 23°C nach 100 h und 24 h Rückstellung = bleibende Deformation	ähnlich ASTM D 621, Zylinder 10x10mm	17 11	9 ...10 4 ... 4,5
Kugeldruckhärte [MPa]	DIN ISO 2039 Teil 1, Platte 4 mm	26	28
Shore Härte D	DIN EN ISO 868	56	59
Kontaktwinkel mit Wasser [°]	Intern	126	126

*) Vergleichsbeispiele, ermittelt an S-PTFE-Typen

Tabelle 1. Gegenüberstellung der Eigenschaften von Standard- und modifiziertem PTFE (TFM)

Medium	Temperatur [°C]	Einheit	Dyneon PTFE	Dyneon TFM
SO ₂	23	cm ³ /m ² x d x bar	360	210
HCl	54	cm ³ /m ² x d x bar	640	460
Cl ₂	54	cm ³ /m ² x d x bar	320	160
He	23	cm ³ /m ² x d x bar	3900	2600
O ₂	23	cm ³ /m ² x d x bar	320	180

Tabelle 2. Permeation unterschiedlicher Medien von Standard- und modifiziertem PTFE (TFM)

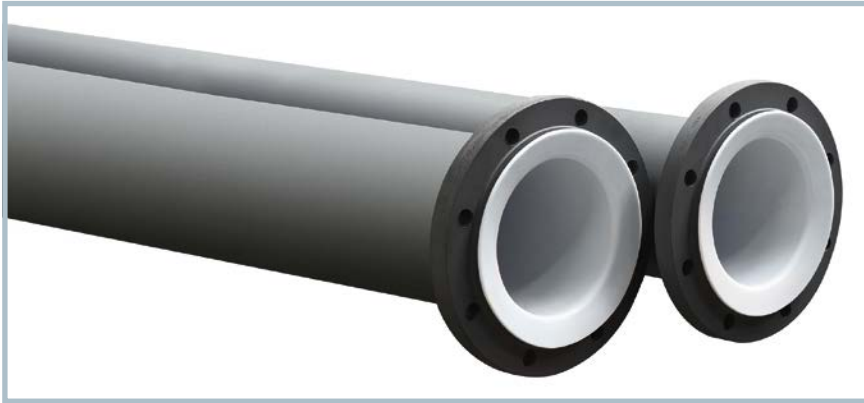


Bild 2. Mit PTFE ausgekleidete Rohrleitung

diesen makroskopisch auch als „Anteigen“ bezeichneten Verfahrensschritt lässt sich das pulverförmige PTFE dann mittels einer Kolbenstrangpresse bei Raumtemperatur extrudieren, wobei Profile, insbesondere Rohre (**Bild 1**) und Schläuche, aber auch Stränge hergestellt werden. Die Scherkräfte in der Extrusionsdüse zerteilen die PTFE-Agglomerate bis auf die Primärkörner, die dann im Extrudat eine längsorientierte dichte Kugelpackung bilden. Im Anschluss an den Extrusionsschritt wird zunächst das Naphtha über eine Trocknung vollständig entfernt.

Das extrudierte Produkt erhält seine endgültige Festigkeit im nachfolgenden Sinterschritt. Eine weitere Besonderheit des E-PTFE sind die extrem kleinen Primärkörner: Mit nur ca. 250 nm Durchmesser bilden sie eine sehr große interne

Kontaktfläche – die ideale Voraussetzung für ein perfektes Ineinanderfließen zu einem homogenen, kompakten Polymergefüge mit extrem glatter Oberfläche. Frei von äußerer Druckbeaufschlagung verfließen die Teilchen praktisch unter ausschließlicher Wirkung des sogenannten Laplace-Drucks, einer Folge der Partikelkoaleszenz. Im Falle des modifizierten PTFEs, das aufgrund des reduzierten Molekulargewichts eine nochmals verbesserte Partikelkoaleszenz aufweist, erreicht man durch das Pastenextrusionsverfahren ein Polymergefüge, das dem des thermoplastisch verarbeitbaren Dyneon PFAs sehr nahe kommt. Aktuelle Permeationsmessungen bei der Dr. Schnabel GmbH & Co. KG, Limburg, einem Unternehmen der SGL Group, mit Helium an praxisrelevanten Wanddicken von 4 mm zeigen eine um mehr als 50% niedrigere Gaspermeation von Dyneon PTFE, hergestellt nach dem Polyfluron-Pastenextrusionsverfahren, gegenüber häufig verwendeten RAM-Extrudaten. Die einzige Einschränkung des Pastenextrusionsverfahrens besteht darin, dass es auf die Herstellung einfacher Geometrien beschränkt ist.

Lose Auskleidung liegt eng an

Im Falle der Auskleidung von Stahlrohren werden die gesinterten PTFE-Auskleidungsrohre bzw. Liner nach Vorkalibrierung in die Stahlrohre eingezogen. Dank

Die Autoren

Dipl.-Ing. Wolfgang Neumann ist zuständig für das Application and Product Development Europe der Fluoroplastics Dyneon GmbH, Burgkirchen; wneumann@mmm.com.

Dr.-Ing. Fee Pitsch ist ebenfalls im Application and Product Development Europe der Fluoroplastics Dyneon GmbH, Burgkirchen, tätig; fpitsch@mmm.com.

Dr. Michael Schlipf ist Berater für die Dyneon GmbH, Burgkirchen; mschlipf@fps-solutions.de.

Robert Meyer zu Westram ist für das Segment Management Fluid Handling bei der SGL Carbon GmbH, Meitingen, verantwortlich; robert.meyerzuestram@sglgroup.com.

Service

Digitalversion

- » Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/1027358

English Version

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



Bild 3. Der PTFE-Kompensator dient zum Ausgleich von Wärmeausdehnungen bei Rohrleitungen aus unterschiedlichen Werkstoffen

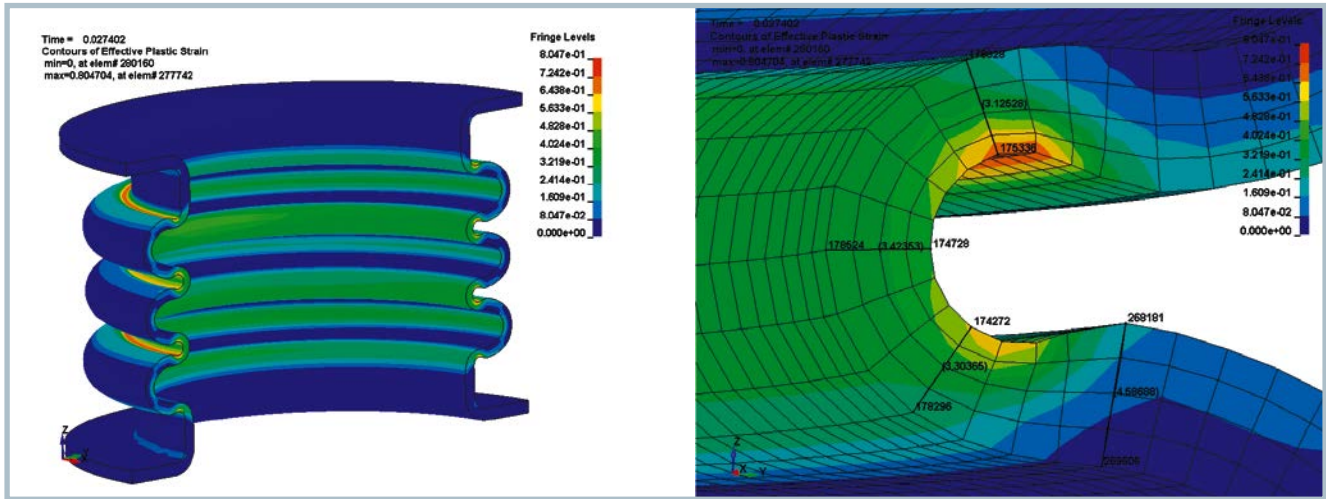


Bild 4. FEM-Simulation des maximalen Betriebsdrucks von PTFE-Kompensatoren vor plastischer Verformung

des Memory-Effekts von PTFE stellen sie sich radial zurück und legen sich auf diese Weise eng an die Innenseite der auszukleidenden Stahlrohre an. Variable Spaltbildung zwischen PTFE-Inliner und Stahlrohr, eine mögliche Ausgangsstelle für Korrosion, wird sicher vermieden. An den Flanschen wird das Material umgebördelt und die Rohre können ohne weitere Bearbeitungsschritte miteinander verbunden werden (**Bild 2**). Die umgebördelte Auskleidung dient dabei gleichzeitig als Abdichtung zwischen den Flanschen. Zusätzliche Dichtungen zwischen mit PTFE ausgekleideten Bauteilen sind nicht erforderlich. Über dieses Verfahren lassen sich Rohrdurchmesser bis zu einer Nennweite von 600 mm mit nahtlosen PTFE-Auskleidungen herstellen.

Bei aktuellen Untersuchungen eines Chemieunternehmens setzten sich im direkten Vergleich Dyneon PTFE und Dyneon TFM aufgrund ihrer hervorragenden Performance als die am besten geeigneten Hochleistungswerkstoffe durch. Hier kommt TFM aufgrund verbesserter Permeationseigenschaften bei höheren Temperaturen zum Einsatz. Die Pastenextrusion ist dabei das ideale Herstellverfahren zur Auskleidung langer Stahlrohre. Anders als beim isostatischen Pressen können Verarbeiter längere Rohrauskleidungen in einem Arbeitsschritt herstellen und damit die Zahl der Flanschverbindungen reduzieren.

Auskleidungen für besondere Fälle

Für Dimensionen, für die keine nahtlos extrudierten Auskleidungen zur Verfü-

gung stehen, können pastenextrudierte Linersegmente miteinander verbunden werden. Je nach PTFE-Typ kommen bei der Dr. Schnabel GmbH unterschiedliche Schweißverfahren bei Auskleidungsdicken von bis zu 8 mm zum Einsatz. Reaktoren, Kolonnen oder Behälter mit eingeschweißten Stützen lassen sich so sicher auskleiden und vor Korrosion schützen (**Titelbild**). Schweißnahtlängen von 4000 mm sind mit Dyneon TFM möglich. Sie erlauben heute Kolonnenschusslängen von bis zu 3500 mm und damit Kostenvorteile aufgrund geringerer Flanschzahl. Trotz niedriger Permeationsrate der pastenextrudierten Liner können einige Medien wie Chlorwasserstoff (HCl) oder Fluorwasserstoff (HF) durch den Liner „wandern“. Hier bieten lose Auskleidungen den Vorteil, dass Permeate über spezielle Entlüftungssysteme kontrolliert entweichen können. Hohe Anlagenverfügbarkeit und Prozesssicherheit lassen sich damit sicherstellen, was die langjährigen Erfahrungen mit Polyfluron bei Kolonnen und Behältern inklusive Einbauten von Dr. Schnabel GmbH zeigen.

PTFE-Kompensatoren dienen zum Ausgleich von Wärmeausdehnungen bei Rohrleitungen aus den unterschiedlichsten Werkstoffen (**Bild 3**). Dank ihrer großen Verstellwege eignen sie sich insbesondere auch in Kunststoff- bzw. GFK-Rohrleitungen und verhindern kritische Spannungen. Wegen ihrer Flexibilität und geringen Federraten finden sie sich außerdem an sensiblen Anlagenteilen mit emaillierten Ausrüstungen, Gra-

phit-Apparaten und Graphit-Wärmetauschern. Dadurch bieten sie eine kompakte Alternative zu den materialintensiven und ausladenden, hufeisenförmig geformten Rohrbögen zum Ausgleich der Wärmeausdehnung, den sogenannten Lyra-Bögen.

Auch zur Absorption von Schwingungen und Vibrationen, etwa an Pumpen, werden PTFE-Kompensatoren eingesetzt. Dabei kommen ganz besondere Eigenschaften des Materials zum Tragen: die geringe Neigung zur Materialermüdung und das völlige Fehlen einer Sprödbrechneigung im Vergleich zu anderen Kunststoffen bzw. Elastomeren oder bestimmten Metallen.

Die wellenförmigen Liner werden aus Sicherheitsgründen auch hier aus porenarmen Pastenextrudaten hergestellt. Eine mögliche Vergrößerung von Fehlstellen unter mechanischen Belastungen und Bewegungen bis hin zu Rissen werden so sicher vermieden. Zusätzlich zu einer optimalen Linerqualität ist die gleichmäßige Wanddicke des PTFE für die Lebensdauer entscheidend. Die Dr. Schnabel GmbH hat dafür ein spezielles Herstellverfahren für Polyfluron-Kompensatoren entwickelt, das die Spannungskonzentrationen in den kritischen Bereichen der Wellen, den „Bergen“ und „Tälern“, vermeidet und so die maximale Betriebssicherheit ermöglicht. Über Simulationen lassen sich die Betriebsdruckgrenzen bei Temperaturen von z. B. 150 °C berechnen (**Bild 4**). So können auch große Durchmesser sicher bestimmt werden, bei denen praxisnahe Berstdrucktests kaum durchzuführen sind. ■