



EVERFLON™ PFA

Funktionshandbuch

Polyfluoroalkoxy

EVERFLON ACADEMIC

Einführung

Everflon™ PFA ist ein Copolymer aus Tetrafluorethylen (C_2F_4) und Perfluoralkoxyethylen. Wie die Abbildung unten zeigt, sind in der Grundstruktur von Everflon™ PFA alle Kohlenstoffatome fest an Fluor-
atome gebunden.

Dadurch weist Everflon™ PFA über einen weiten Temperaturbereich hervorragende chemische, elektrische, mechanische und Oberflächeneigenschaften auf. Im Vergleich zu Everflon™ PTFE ist es im geschmolzenen Zustand flüssig und eignet sich daher für Spritzguss, Extrusion, Blasformen, Transferformen und andere Schmelzverarbeitungsverfahren. Diese technische Broschüre unterstützt Anwender bei der Entwicklung verschiedener Anwendungen, die die Eigenschaften von Everflon™ PFA nutzen. Sie bietet eine umfassende Beschreibung der Materialeigenschaften von Everflon™ PFA und Informationen zur Verwendung des Harzes in Formgebungsverfahren.

Im Handel erhältliche Everflon™ PFA-Fluorpolymere

Everflon™ ETFE Grade	Resin Characteristics	Applications
403/S	Niedrigschmelzender Kunststoff für Spritzguss- und Extrusionsanwendungen	Rohre Rohrauskleidungen Folien Spritzguss-/Blasformteile
410/S	Mittelschmelzender Kunststoff für Spritzguss- und Extrusionsanwendungen	Dünnwandige Drahtisolierung Komplexe/kleine Spritzgussteile
420/S	Hochschmelzender Kunststoff für Spritzguss- und Extrusionsanwendungen	Rohre Drähte und Kabel Spritzgussteile
430/S	Ultraschmelzender Kunststoff für Spritzguss- und Extrusionsanwendungen	Dünnwandige Drahtisolierung Komplexe/kleine Spritzgussteile
GC403	Niedrigschmelzender Kunststoff mit hoher Spannungsrissebeständigkeit für Spritzguss- und Extrusionsanwendungen	Rohre und Leitungen Formteile und Auskleidungen Plattenauskleidung für Behälter und Chemikalienfördersysteme in Reinraumanwendungen
GC410	Mittelschmelzender Kunststoff für Spritzguss- und Extrusionsanwendungen	Spritzgussteile und Rohre in Reinraumanwendungen
GC420	Hochschmelzender Kunststoff für Spritzguss- und Extrusionsanwendungen	Spritzgussteile in Reinraumanwendungen (z. B. Fittings, Ventilkörper, Filtergehäuse)
GC430	Ultraschmelzender Kunststoff für Spritzguss- und Extrusionsanwendungen	Dünnwandige Drahtisolierung Komplexe/kleine Spritzgussteile
C403	Niedrigschmelzender, antistatischer Kunststoff	Rohre, Auskleidungen und Formteile mit Anforderungen an die antistatische Ableitung
C410	Mittelschmelzender, antistatischer Kunststoff	Kabel, Rohre, Auskleidungen und Formteile mit Anforderungen an die antistatische Ableitung
C420	Hochschmelzender, antistatischer Kunststoff	Kabel, Rohre, Auskleidungen und Formteile mit Anforderungen an die antistatische Ableitung
CC04	Farbkonzentrat mit PFA-Neuware	Kabel, Schläuche, Auskleidungen und Formteile mit verschiedenen Farbanforderungen
JP04	Pulver für Spezialanwendungen	Ideal für Compoundierung und Formpressen
GS04	Reines, rieselfähiges Pulver für Rotationsformen und Rotationsauskleidung	Hohlteile Komplexe Geometrien Auskleidung

Eigenschaften von Everflon™ PFA

Hervorragende, dauerhafte mechanische Festigkeit

Von –200 °C bis +260 °C behält Everflon™ PFA seine mechanische Festigkeit über einen weiten Temperaturbereich bei und die Produkte behalten innerhalb dieses Bereichs ihre Formstabilität.

Hervorragende chemische Beständigkeit

Everflon™ PFA ist beständig gegen die meisten Lösungsmittel und ein Material, das im Umgang mit Chemikalien äußerst stabil ist.

Hervorragende elektrische Eigenschaften

Mit einer sehr niedrigen Dielektrizitätskonstante und einem sehr niedrigen dielektrischen Tangens ist Everflon™ PFA ein hervorragendes Material für die elektrische Isolierung und trägt zur Steigerung der Zuverlässigkeit in der Elektronikbranche bei.

Hervorragende Nichtbrennbarkeit

Everflon™ PFA weist aufgrund seiner Nichtbrennbarkeit einen Sauerstoffindex von über 95 % auf und findet daher breite Anwendung in verschiedenen Bereichen.

Hervorragende Oberflächeneigenschaften

Neben geringer Reibung, Antihaft-Eigenschaften, Wasser- und Ölabweisung und anderen hervorragenden Oberflächeneigenschaften, die sich optimal nutzen lassen, ist Everflon™ PFA auch äußerst zuverlässig und weist einen geringen Strömungswiderstand auf.

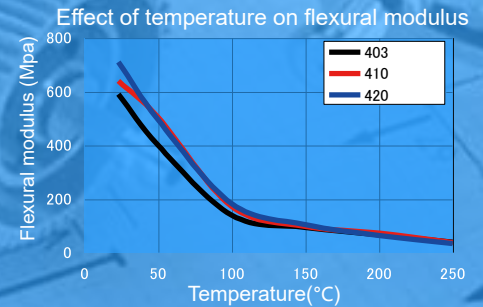
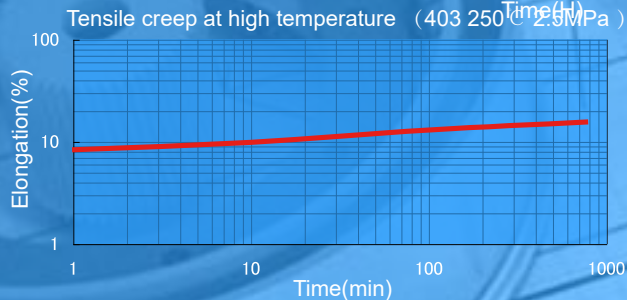
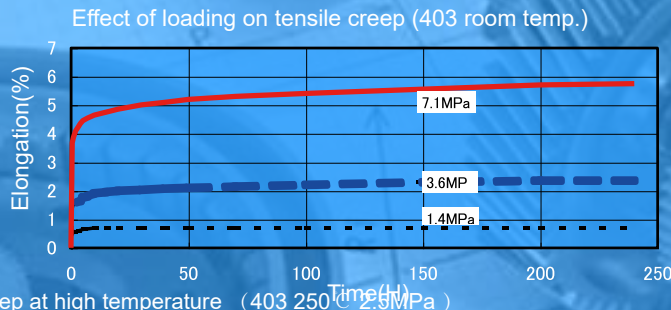
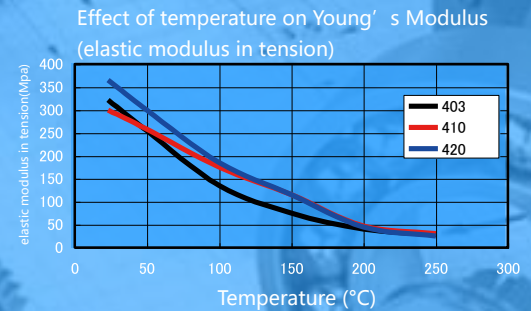
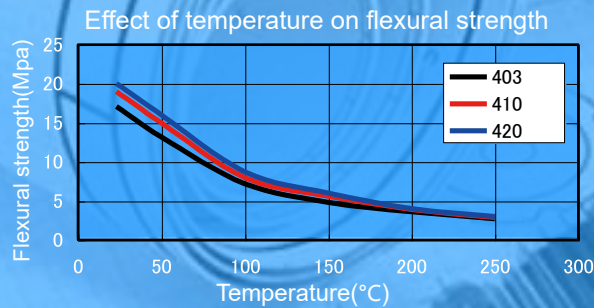
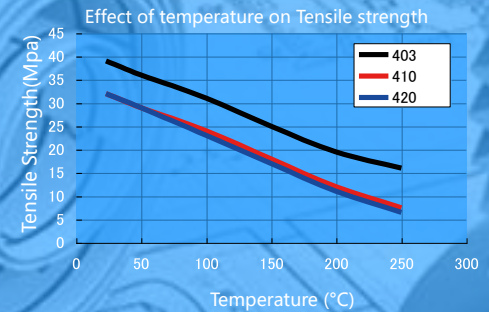
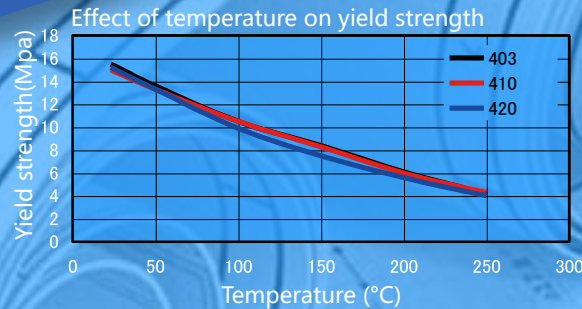
Hervorragende Witterungsbeständigkeit

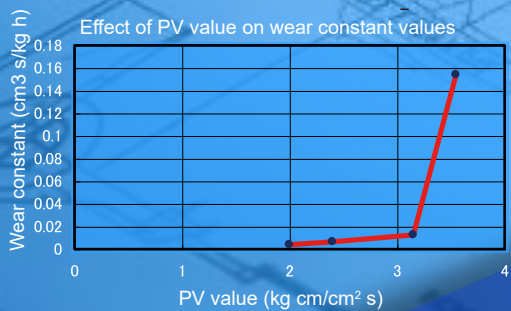
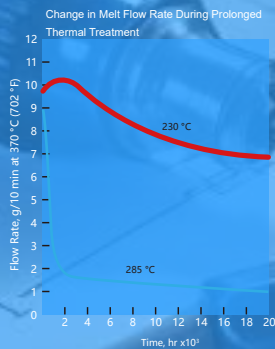
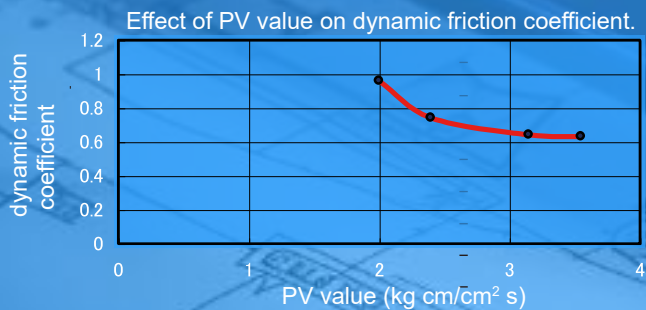
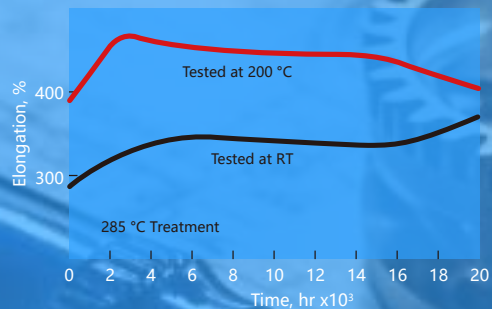
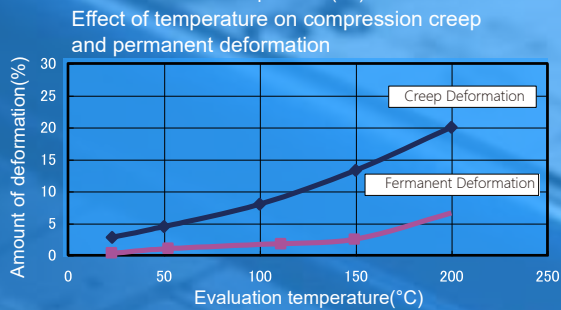
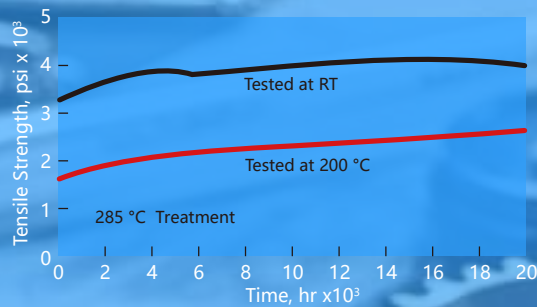
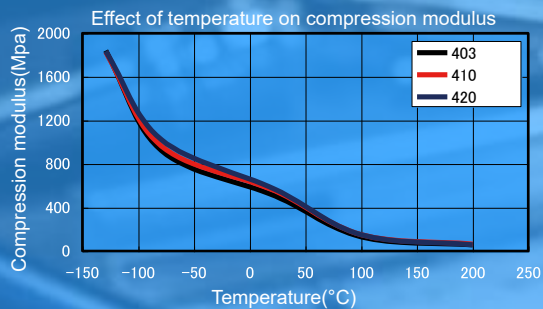
Everflon™ PFA hält direkter Sonneneinstrahlung, Wind und Wetter, Abgasen und anderen Belastungen stand, ohne dass die Leistung nachlässt oder sich die Eigenschaften verschlechtern: Selbst nach langer Freilandwitterung bleiben die Eigenschaften erhalten.

	Property	Unit	ASTM standard	403	410	420	430
Physisch	Schmelzpunkt	°C	--	305-315			
	MFR	g/10min		1-3	6-12	20-30	35-45
	Dichte	--	D792	2.12-2.17			
Mechanisch	Zugfestigkeit 23 °C	MPa	D638	30	28	24	22
	250 °C			16	8	7	
	Dehnung 23 °C	%	D638	380	350	330	300
	250 °C						
	Schlagzähigkeit (Izod)	kg-cm/cm (J/M)	D256A	No Break			
	Härte (Dorometer)	--	D1706	D60			
	Biegemodul	10 ³ kg/cm ² (GPa)	D790	5.5 0.54	6.3 0.62	6.5 0.64	6.5 0.64
	Biegelebensdauer (MIT)	Times	D2176	500,000	20,000	10,000	10,000
	Thermal	Wärmeleitfähigkeit	10-4cal/cm/sec °C	C177	6.0		
Spezifische Wärmekapazität		0.25					
Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient		10 ⁵ °C	D696	14		15	15
Temperatur des Kugeldrucks		°C		230	230	--	
Maximale Betriebstemperatur (Dauerbetrieb)		°C		260			
Elektrische		Widerstand des Volumens	Ω-cm	D257	>10 ¹⁷		
	Widerstand der Oberfläche	Ω	D257	>10 ¹⁷			
	Dielektrizitätskonstante	60Hz	D150	< 2.1			
		10 ³ Hz					
		10 ⁶ Hz					
		10 ⁹ Hz					
	Dielektrizitätstangens	60Hz	D150	< 0.0003			
		10 ³ Hz					
10 ⁶ Hz							
Lichtbogenbeständigkeit	S	D495	>300				
Andere	Wasseraufnahme	%	D570	< 0.03			
	Entflammbarkeit	--	UL94		V-0		
	Sauerstoffindex	--	D2863	>95			

Materialeigenschaften von Everflon™ PFA

Mechanische Eigenschaften





Datenportal

Schlagfestigkeit (ASTM D256)

Der Kerbschlagbiegeversuch nach Izod ist ein Verfahren zur Bestimmung der Schlagfestigkeit von Kunststoffen. Dabei wird ein gekerbtes Kunststoffstück einem Schlag ausgesetzt und die bis zum Bruch absorbierte Energie gemessen. Everflon™ PFA bricht bei Raumtemperatur nicht.

Unit: J/m			
Temperatur	403	410	420
-40 °C	700	680	570
25 °C	No breakage	No breakage	No breakage

Test piece:64*12.7*3.2mm

Einfluss kryogener Temperaturen

Tests bei Temperaturen von flüssigem Stickstoff zeigen, dass Everflon™ PFA-Fluorpolymerharze auch in kryogenen Anwendungen gut geeignet sind.

Property	ASTM Method	Unit	Value	
			Room Temperature, 23°C	Cryogenic Temperature, -196°C
Streckgrenze	D1708	MPa (psi)	15 (2,100)	No Yield
Zugfestigkeit	D1708	MPa (psi)	18 (2,600)	129 (18,700)
Dehnung	D1708	%	260	8
Biegemodul	D790-71	MPa (psi)	558 (81,000)	5,790 (840,000)
Kerbschlagzähigkeit nach Izod	D256-72	J/m (ft-lb/in)	No Break	64 (1.2)
Druckfestigkeit	D695	MPa (psi)	24 (3,500)	414 (60,000)
Druckverformung	D695	%	20	35
Elastizitätsmodul	D695	MPa (psi)	69 (10,000)	4,690 (680,000)

Haftung

Everflon™ PFA-Fluorpolymerharze, die als Dünnschicht-Schmelzklebstoffe eingesetzt werden, ermöglichen starke, hochgradig wasserbeständige Verbindungen mit einer Vielzahl von thermisch beständigen Substraten. Metalle, Glas und andere thermisch beständige Materialien wurden bereits mit diesem Verfahren verklebt.

Biegelebensdauer (MIT-Methode ASTM D2176)

Mithilfe der MIT-Methode wurde die Biegelebensdauer von Flugasche (PFA) als einfache Methode zur Bewertung der Beständigkeit gegen Spannungsrisskorrosion gemessen. Die Prüfkörper bestanden aus kurzen Bändern (1,25 mm × 130 mm × 0,23 mm), die mit einer Frequenz von 175 Biegungen pro Minute um ±135° gebogen wurden, bis sie brachen; die Anzahl der Biegungen wurde erfasst. Die Ergebnisse zeigen, dass Everflon-Flugasche eine längere Lebensdauer aufweist als vergleichbare Sorten anderer Hersteller.

Grade	403	410	420
Cycles	50*10 ⁴	2.5*10 ⁴	1.8*10 ⁴

Härte

Die Härte von Everflon™ PFA-Fluorpolymerharzen beträgt 55–57 Shore A. Dieses Ergebnis wurde in Prüfungen an formgepressten Platten gemäß ASTM D2240 erzielt.

Thermische Beanspruchung

Everflon™ PFA-Fluorpolymerharze sind für den Dauereinsatz bei Temperaturen bis zu 260 °C geeignet. Eine Langzeit-Wärmebehandlung von Everflon™ PFA Fluorpolymerharzplatten, Zugstäben und beschichteten Drähten bei 285 °C zeigt jedoch, dass das Harz dieser Temperatur dauerhaft ausgesetzt werden kann, ohne dass sich seine mechanischen oder elektrischen Eigenschaften verschlechtern.

Verschleiß- und Reibungsdaten

An Everflon™ PFA-Fluorpolymerharzen wurden Reibungs- und Verschleißtests durchgeführt, um die Leistungsfähigkeit (ungefüllt) in mechanischen Anwendungen wie Lagern und Dichtungen zu ermitteln. Die Tests wurden an Form-Axiallagern bei 0,7 MPa (100 psi) gegen AISI 1018, Rc20, 16AA-Stahl durchgeführt; die Tests erfolgten unter Umgebungsbedingungen an Luft ohne Schmierung.

Velocity, ft/min	Wear Factor, K x 10 ⁻¹⁰	Dynamic Coefficient of Friction	Duration, hr
3	1,591	0.210	103
10	1,837	0.214	103
30	983	0.229	103
50	694	0.289	103

Chemische Eigenschaften

Everflon™ PFA-Fluorpolymerharze sind dafür bekannt, auch nach chemischer Einwirkung hohe mechanische Eigenschaften beizubehalten. Die vollständig fluoriierte Everflon™ PFA-Fluorpolymerharzreihe zeichnet sich sogar durch höchste chemische Inertheit aus, da sie keine reaktiven Endgruppen aufweist.

Sie werden durch die in chemischen Prozessen üblicherweise vorkommenden chemischen Systeme nicht abgebaut.

Sie sind inert gegenüber:

– Starken Mineralsäuren – Anorganischen Basen – Anorganischen Oxidationsmitteln – Salzlösungen

Sie sind außerdem inert gegenüber organischen Verbindungen wie:

– Organischen Säuren – Anhydriden – Aromaten – Aliphatischen Kohlenwasserstoffen – Alkoholen – Aldehyden – Ketonen – Ethern – Estern – Chlorkohlenwasserstoffen – Fluorkohlenwasserstoffen – Gemischen der oben genannten Verbindungen

Wie andere perfluorierte Produkte können Everflon™ PFA-Fluorpolymerharze von bestimmten halogenierten Komplexen, die Fluor enthalten, angegriffen werden. Dazu gehören Chlortrifluorid, Bromtrifluorid, Iodpentafluorid und Fluor selbst. Everflon™ PFA-Fluorpolymerharze können auch von Metallen wie Natrium oder Kalium, insbesondere im geschmolzenen Zustand, angegriffen werden. Beim Mischen fein verteilter Fluorpolymere mit fein verteilten Metallen wie Aluminium, Magnesium oder Barium ist größte Vorsicht geboten, da diese bei Entzündung oder Erhitzung auf hohe Temperaturen heftig reagieren können. Bestimmte Komplexe dieser Metalle mit Ammoniak oder Naphthalin (in beiden Lösungsmitteln) greifen das Produkt ebenfalls an.

Diese Komplexe werden verwendet, um Filmen oder Schläuchen aus Everflon™ PFA-Fluorpolymerharzen eine zementierbare Oberfläche zu verleihen. Es wurde auch beobachtet, dass bestimmte Metallhydride wie Borane, Aluminiumchlorid und bestimmte Amine Fluorkohlenstoffharze bei erhöhten Temperaturen angreifen.

Physikalische Schäden durch Absorption verschiedener Chemikalien in die Wände gefertigter Artikel (insbesondere in Kombination mit Temperaturschwankungen), schnelle Druckänderungen und mechanische Beanspruchung sind die häufigsten Ursachen für das Versagen von Artikeln aus Everflon™ PFA-Fluorpolymerharzen.

Die Tabelle zeigt die Ergebnisse von Zugversuchen und die Gewichtszunahme von Everflon™ PFA-Fluorpolymerharzen nach dem Eintauchen in anorganische chemische Medien. Üblicherweise haben die gängigen anorganischen Reagenzien keinen messbaren Einfluss auf die Zugeigenschaften von Everflon™ PFA-Fluorpolymerharzen. Sollte jedoch ein Einfluss auftreten, ist eine messbare Gewichtszunahme oder -abnahme zu beobachten. Sulfurylchlorid stellt einen Sonderfall dar, bei dem eine „Hybrid“-Verbindung von den hergestellten Teilen absorbiert wird, was zu einer geringen Erhaltung der Eigenschaften führt. In keinem der oben genannten Fälle wurden chemisch abbauende Wechselwirkungen beobachtet.

Die Tabelle zeigt außerdem die Veränderung der Zugeigenschaften und die Gewichtszunahme, wenn hergestellte Everflon™ PFA-Fluorpolymerharze typischen organischen Flüssigkeiten ausgesetzt werden, die eine Reihe klassischer Verbindungen repräsentieren. Everflon™ PFA-Fluorpolymerharze weisen eine gleichwertige oder bessere chemische Beständigkeit auf.

Diese Daten zeigen, dass Flüssigkeiten, die das Harz benetzen, tendenziell zu hohen Gewichtszunahmen und geringer Erhaltung der Zugfestigkeit führen, insbesondere bei hohen Temperaturen.

Everflon™ PFA weist eine ausgezeichnete chemische Beständigkeit gegenüber anderen anorganischen Säuren und Basen sowie organischen Lösungsmitteln auf. Es ist jedoch zu beachten, dass Everflon™ PFA, wie PTFE und andere Fluorharze, eine Neigung zur Reaktion mit Alkalimetallen (metallischem Natrium) und Fluor aufweist.

Chemical	Temp	Tage	Anzahl der Risse
Nichtchemischer Wärmekreislauf		21	0/5
Toluol	100°C	7	0/5
Nitrobenzol	100°C	7	0/5
Acetophenon	100°C	7	0/5
Perchlorethylen	100°C	7	0/5
Sulfurylchlorid	23°C	7	0/5
Tetrachlorkohlenstoff	75°C	7	0/5

Einfluss der chemischen Einwirkung auf Everflon™ PFA-Fluoropolymerharze (168 Std.)

Chemische		Prüftemperatur		% Physikalische Rückhaltung		
		°C	°F	Tensile	Elongation	% Weight Gain
Inorganic Chemicals						
Mineral Acid	Salzsäure (konz.)	120	248	98	100	0.0
	Schwefelsäure (konz.)	120	248	95	98	0.0
	Fluorwasserstoffsäure (60 %)	23	73	99	99	0.0
	Schwefelwasserstoff rauchend	23	73	95	96	0.0
Oxidizing Acids	Königswasser	120	248	99	100	0.0
	Chromsäure (50 %)	120	248	93	97	0.0
	Salpetersäure (konz.)	120	248	95	98	0.0
	Salpetersäure rauchend	23	73	99	99	0.0
Inorganic Bases	Ammoniumhydroxid (konz.)	66	150	98	100	0.0
	Natriumhydroxid (50 %)	120	248	93	99	0.4
Peroxide	Wasserstoffperoxid (30 %)	23	73	93	95	0.0
Halogens	Brom	23	73	99	100	0.5
	Brom	59	138	95	95	0.5
	Chlor	120	248	92	100	0.5
Metal Salt Solutions	Eisen(III)-chlorid	100	212	93	98	0.0
	Zinkchlorid (25 %)	100	212	96	100	0.0
Other Inorganics	Sulfurylchlorid	69	156	83	100	2.7
	Chlorsulfonsäure	151	304	91	100	0.7
	Phosphorsäure (konz.)	100	212	93	100	0.0

Permeability

unit ×10⁻¹⁰cm³ cm/sec cm² cmHg

	403	410	420
Oxygen	4.4	3.6	3.6
Nitrogen	1.5	1.4	1.6

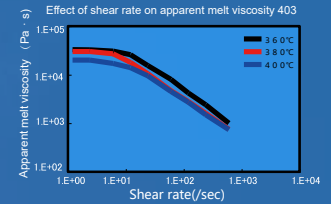
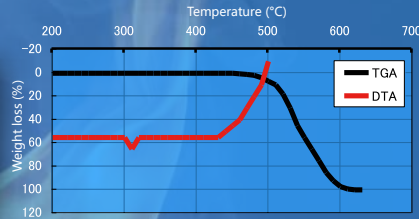
Chemische		Prüftemperatur		% Physikalische Rückhaltung		
		°C	°F	Tensile	Elongation	% Weight Gain
Organic Chemicals						
Acids/Anhydrides	Eisessig	118	244	95	100	0.4
	Essigsäureanhydrid	139	282	91	99	0.3
	Trichloressigsäure	196	384	90	100	2.2
Hydrocarbons	Isooctan	99	210	94	100	0.7
	Naphtha	100	212	91	100	0.5
	Mineralöl	180	356	87	95	0.0
	Toluol	110	230	88	100	0.7
Functional Aromatics	o-Kresol	191	376	92	96	0.2
	Nitrobenzol	210	410	90	100	0.7
Alcohol	Benzylalkohol	205	401	93	99	0.3
	Anilin	185	365	94	100	0.3
Amines	n-Butylamin	78	172	86	97	0.4
	Ethylendiamin	117	242	96	100	0.1
Ether	Tetrahydrofuran	66	151	88	100	0.7
	Benzaldehyd	179	355	90	99	0.5
Ketones Aldehydes	Cyclohexanon	156	312	92	100	0.4
	Methylethylketon	80	176	90	100	0.4
	Acetophenon	202	396	90	100	0.6
	Phosphorsäure (konz.)	220	392	98	100	0.3
Esters	Dimethylphthalat	220	392	98	100	0.3
	n-Butylacetat	125	257	93	100	0.5
	Tri-n-butylphosphat	200	392	91	100	2.0
Chlorinated Solvents	Methylenchlorid	40	104	94	100	0.8
	Perchlorethylen	121	250	86	100	2.0
	Tetrachlorkohlenstoff	77	171	87	100	2.3
Polymer Solvents	Dimethylformamid	154	309	96	100	0.2
	Dimethylsulfoxid	189	372	95	100	0.1
	Dioxan	101	214	92	100	0.6

Thermische Eigenschaften

Thermische Zersetzung

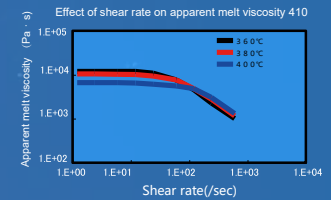
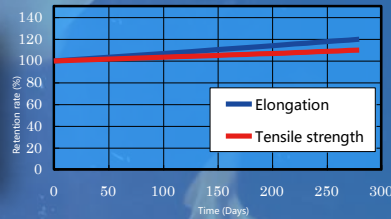
Bis ca. 400 °C zeigt das Material eine ausgezeichnete thermische Stabilität ohne Gewichtsverlust. Auch bei 700 °C waren keine Zersetzungsrückstände mehr nachweisbar.

	Unit: (°C)		
Grade	403	410	420
Anfangsgewichtsverlust	400	400	400
10 % Gewichtsverlust	510	510	510
50 % Gewichtsverlust	540	542	539



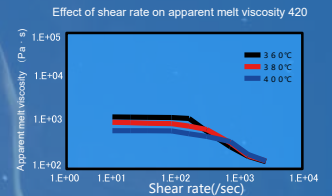
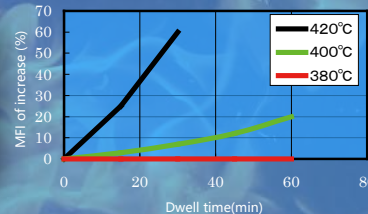
Wärmealterung

Nach 280 Tagen bei 280 °C waren die Zugfestigkeit und die Dehnung höher als zu Beginn des Versuchs.



Thermische Stabilität

Nachdem das Material über die angegebenen Zeiträume bei den genannten Temperaturen gehalten wurde, wurde der Schmelzflussindex (MFR) bestimmt. Nach mehr als einer Stunde bei 380



Wärmeverformungstemperatur

Die angegebenen Temperaturen sind diejenigen, bei denen die Prüfkörper unter Belastung (0,45 MPa bzw. 1,81 MPa) eine Verformung von 0,254 mm aufwiesen, als die Temperatur mit einer Rate von 2 °C/min erhöht wurde.

Wärmeformbeständigkeitstemperatur

Loading	403	410	420
0.45MPa	91	92	93
1.81MPa	56	57	57

Vicat-Erweichungstemperatur

Die angegebenen Werte sind die Temperaturen, bei denen eine Nadel mit 1 mm Durchmesser unter einer Last von 1 kg, die mittig in einen Prüfkörper eingesetzt wurde, 1 mm tief in diesen eindrang, während die Temperatur mit einer Rate von 50 °C/h erhöht wurde.

403	410	420
287°C	281°C	270°C

Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient

Temperature Range °C	403	410	420
-100~-75	9	9	8
-75~-15	12	11	12
-15~100	14	14	15
100~150	16	16	17
150~210	21	21	21

Elektrische Eigenschaften

Zu den elektrischen Anwendungen gehören extrudierte Beschichtungen für diverse Drahtkonstruktionen, Heizkabel, dickwandige Schutzrohre, Kabelummantelungen und geophysikalische Kabel. Everflon™ PFA-Fluorpolymerharze werden außerdem im Spritzgussverfahren zu elektrischen Schalterkomponenten, Steckverbinder einsätzen, Isolierbuchsen und Abstandsisolatoren verarbeitet.

Dielektrizitätskonstante und dielektrischer Tangens (ASTM D150)

Die Dielektrizitätskonstante von Everflon™ PFA-Harzen liegt über einen weiten Frequenz-, Temperatur- und Dichtebereich unter 2,1. Die Dichtewerte von Everflon™ PFA-Fluorpolymerharzen variieren nur geringfügig (2,13–2,17), und die Dielektrizitätskonstante schwankt in diesem Bereich nur um etwa 0,03 Einheiten – einer der niedrigsten Werte aller Feststoffe. Die Luftfeuchtigkeit hat keinen messbaren Einfluss auf die Dielektrizitätskonstante von Everflon™ PFA-Fluorpolymerharzen.

Durchschlagsfestigkeit

Die Durchschlagsfestigkeit (kurzfristig) aller Everflon™ PFA-Fluorpolymerharze beträgt 80 kV/mm (2.043 V/mil), gemessen an 0,25 mm (10 mil) dicken Filmen gemäß ASTM D149.

Dünne FEP-Filme weisen ähnliche Werte auf, während PTFE-Filme typischerweise bei 47 kV/mm (1.200 V/mil) gemessen werden.

Wie andere Fluorpolymerharze verliert auch Everflon™ PFA bei Koronaentladungen an Durchschlagsfestigkeit.

Verlustfaktor

Der Verlustfaktor von Everflon™ PFA-Fluorpolymerharzen ist frequenz- und temperaturabhängig. Bei niedrigen Frequenzen (10^2 – 10^4 Hz) steigt der Verlustfaktor mit zunehmender Temperatur. Im Frequenzbereich von 10^4 – 10^7 Hz ist die Temperaturabhängigkeit des Verlustfaktors gering. Mit steigender Frequenz bis 10^{10} Hz nimmt der Verlustfaktor stetig zu. Die größten Zunahmen werden bei Raumtemperatur gemessen. Es gibt Hinweise darauf, dass ein Maximum bei etwa 3×10^{11} Hz existiert. Die vollständig fluorierten Endgruppen der Everflon™ PFA-Fluorpolymerharze führen zu niedrigeren Verlustfaktoren bei hohen Frequenzen. Everflon™ PFA-Fluorpolymerharze sind daher als elektrisches Isolationsmaterial bei hohen Frequenzen die bevorzugte Wahl.

Elektrischer Widerstand

Der spezifische Volumen- und Oberflächenwiderstand von Fluoropolymerharzen ist hoch und wird weder durch Zeit noch durch Temperatur beeinflusst.

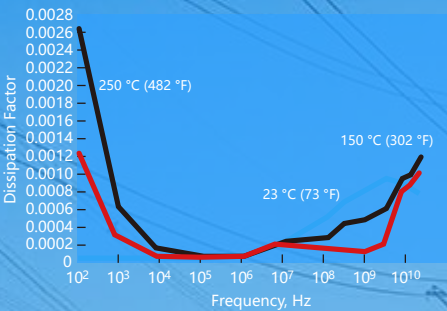
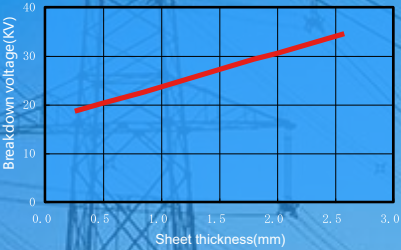
Messungen des spezifischen Volumenwiderstands von Everflon™ PFA-Fluoropolymerharzen nach ASTM D257 ergaben einen Wert von über $10^{18} \Omega \cdot \text{cm}$. Der spezifische Oberflächenwiderstand lag über $10^{18} \Omega/\text{sq}$.

Bei der Prüfung von Everflon™ PFA-Fluoropolymerharzen nach ASTM D495 mit Edelstahlelektroden wurde während der gesamten Prüfdauer (180 s) keine Kriechstrombildung beobachtet. Dies deutet darauf hin, dass das Harz keine leitfähige, karbonisierte Schicht bildet.

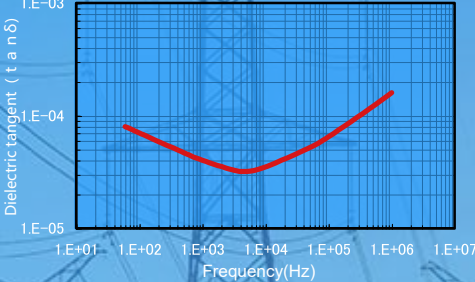
Einfluss der Temperatur auf den spezifischen Volumenwiderstand (ASTM D257)

Temperatur (°C)	23	50	100
Spezifischer Volumenwiderstand ($\Omega \cdot \text{cm}$)	$3 \cdot 10^{17}$	$5 \cdot 10^{17}$	$3 \cdot 10^{17}$

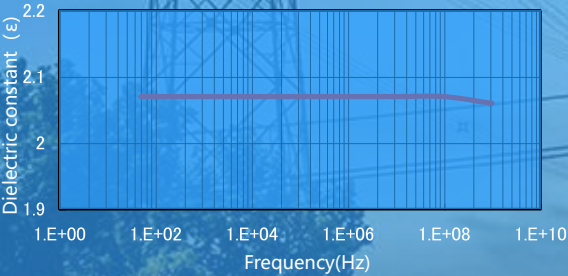
Insulation
Dependence of insulation breakdown voltage on material thickness.



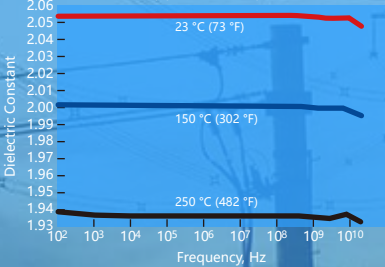
Effect of frequency on dielectric tangent



Effect of frequency on dielectric constant

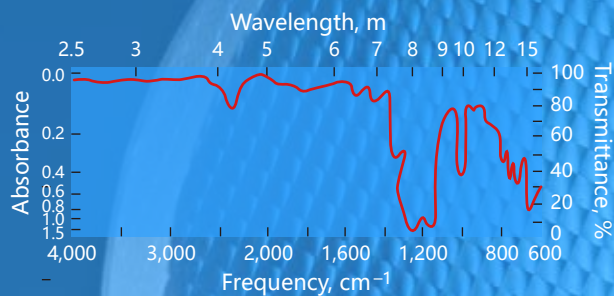


Dielectric Constant at Various Frequencies and Temperatures (by ASTM D150)



Optische Eigenschaften

Als Film weisen Everflon™ PFA-Fluoropolymerharze hervorragende optische Eigenschaften mit geringer Trübung auf (gemessen nach ASTM-Methoden). Die spezifischen Transmissionswerte für verschiedene Wellenlängen sind in der Tabelle aufgeführt. Der Brechungsindex von Filmen aus Everflon™ PFA-Fluoropolymerharzen wurde bei einer Wellenlänge von 546 nm (grünes Licht) und Raumtemperatur gemessen. Das Infrarotspektrum von Everflon™ PFA-Fluoropolymerharzen ist in der Abbildung dargestellt. Dieser „Fingerabdruck“ ist häufig hilfreich, um das Harz unter anderen Fluorkohlenstoffpolymeren zu identifizieren.



Property	Test Method	Value
Brechungsindex	ASTM D542-50	1.350
Trübung	ASTM D1003-52	4%
Lichtdurchlässigkeit		
UV (0,25–0,40 µm)	(Cary Model 14)	77–91%
Sichtbar (0,40–0,70 µm)	Spectrophotometer,	91–96%
Infrarot (0,70–2,4 µm)	100-gauge (0.025-mm) film thickness	96–98%

Bewitterung

Everflon™ PFA-Fluoropolymerharze sind extrem hydrophob und perlen den Boden nahezu vollständig ab. Nach 24 Stunden in Wasser bei Raumtemperatur und anschließend 2 Stunden in kochendem Wasser wurde eine Feuchtigkeitsaufnahme von <0,03 % festgestellt. Sie werden außerdem praktisch nicht durch Sauerstoff, Ozon sowie sichtbares oder UV-Licht beeinträchtigt. Testmuster, die über viele Jahre nahezu allen klimatischen Bedingungen ausgesetzt waren, haben gezeigt, dass Everflon™ PFA-Fluoropolymerharze vollständig witterungsbeständig sind. Nach dieser Exposition traten keine signifikanten Veränderungen der Zugeigenschaften, der Dichte oder der Schmelzfließgeschwindigkeit auf. Die Ergebnisse zeigen weder Alterung noch Versprödung. Da bei der Verarbeitung keine Weichmacher, Antioxidantien oder andere Zusatzstoffe verwendet werden, findet kein Auslaugen von Substanzen statt.

Strahlungsbeständigkeit

Wird Everflon™ PFA einer hohen Strahlendosis ausgesetzt, kann die Hauptkette im Copolymer-Gerüst aufgrund seiner Perfluorharz-Struktur brechen, was die Zugfestigkeit und Dehnung verringert.

Fertigungsleitfaden

Extrusion

Everflon™ PFA-Fluorpolymere eignen sich für die Extrusion mit Verfahren, die üblicherweise für andere thermoverarbeitbare Kunststoffe angewendet werden, vorausgesetzt, der Extruder ist mit korrosionsbeständigen Legierungen ausgestattet. Es werden Extruder mit einem L/D-Verhältnis von 20:1 bis 30:1 empfohlen. Die Extruder sollten mit unabhängig regelbaren Heizungen ausgestattet sein, die eine präzise Temperaturregelung bis 450 °C ermöglichen. Es können verschiedene Schneckenkonstruktionen verwendet werden. Einschnecken werden empfohlen, während Schnecken mit Barrierschaufeln vermieden werden sollten. Eine typische Schneckenkonstruktion besteht aus einem langen Einzugsbereich (mindestens 12 Schaufeln), gefolgt von einem Übergangsbereich mit 2 bis 6 Schaufeln und einem Dosierbereich mit 5 bis 7 Schaufeln. Brecherplatten und Siebpakete werden normalerweise nicht verwendet, auch nicht bei Verwendung von Farbmasterbatches.

Eine Übersicht über die Anforderungen an Temperatur, Werkzeug und Ausrüstung für die Kabelextrusion ist in der Tabelle dargestellt.

Die eingestellten Temperaturen müssen entsprechend der Extrudergröße und der maximal erreichbaren Durchflussrate gewählt und optimiert werden. Generell gilt: Je höher die Durchflussrate, desto höher muss das Temperaturprofil sein, und je kürzer die Extruderlänge, desto höher muss das Temperaturprofil sein. Es ist wichtig zu beachten, dass die Temperatur in der Dosierzone den größten Einfluss auf die Schmelztemperatur und damit auf den Druck an der Düse und die Liniengeschwindigkeit hat.

Die praktisch erreichbare maximale Liniengeschwindigkeit mit Everflon™ PFA-Harzen wird durch das Auftreten von Schmelzbruch oder Ziehresonanz begrenzt (bei der Schlauchextrusion tritt Schmelzbruch üblicherweise zuerst an der Innenfläche des Konus auf). Dieses Phänomen lässt sich durch Erhöhen der Düsentemperatur bis zum Auftreten von Blasenbildung oder thermischen Abbaueffekten reduzieren. Eine geringe Reduzierung des Schmelzbruchs kann auch durch Erwärmen der inneren Düse erreicht werden. Die kritische Scherrate des Polymers kann als guter Parameter zur Vorhersage der maximalen Extrusionsgeschwindigkeit herangezogen werden. Je höher dieser Wert ist, desto höher ist die erreichbare Bandgeschwindigkeit.

Beispielsweise weist Everflon™ PFA 410 bei einer Temperatur von 372 °C eine kritische Scherrate im Bereich von 50 bis 70 Un aperçu des exigences en matière de température, d'outillage et d'équipement pour l'extrusion de câbles est présenté dans le tableau.

	[°C]
Z1 (rear barrel)	250
Z2	320
Z3	355
Z4	360
Z5 (front barrel)	380
Flansch	380
Adapter	380
Querträger	380
Düse	400
Schmelztemperatur	390-400

Grade	Wall Thickness	DDR
Everflon PFA 403	0.80-1.20 mm	50-25
	1.20-2.00 mm	25-5
Everflon PFA 410	0.10-0.25 mm	250-100
	0.25-0.45 mm	100-50

Das DRB-Verhältnis muss nahe 1 liegen.

$$DDR = \frac{D^2_{die} - D^2_{tip}}{d^2_{wire} - d^2_{copper}}$$
$$DRB = \frac{D_{die}/D_{tip}}{d_{wire}/d_{copper}}$$

	Value
Kabeldurchmesser	6 mm
Wandstärke	0.25 mm
Abzugsverhältnis	25
Abzugsverhältnis-Balance	1
Drahtvorwärmung	–
Schneckendrehzahl	5 rpm
Druck	40 bar
Wasserspalt	200-400mm
Bandgeschwindigkeit	5 m/min
Schneckendurchmesser = 35 mm, L/D = 25	

	Value
Kabeldurchmesser	1.5 mm
Wandstärke	0.25 mm
Abzugsverhältnis	110
Abzugsverhältnis-Balance	1
Drahtvorwärmung	180 °C
Schneckendrehzahl	20 rpm
Druck	21 bar
Wasserspalt	200-400mm
Bandgeschwindigkeit	61 m/min
Schneckendurchmesser = 35 mm, L/D = 25	

Fertigungsleitfaden

Formgebung

Transferformen

Everflon™ PFA eignet sich zur Herstellung von beschichteten Teilen im Transferformverfahren. Dieses Verfahren umfasst im Wesentlichen folgende Schritte:

- Schmelzen und Plastifizieren
- Einspritzen in eine heiße Form
- Nachfüllen und Abkühlen

Typische Transferformharze sind solche mit niedrigem Schmelzindex (MFI), wie z. B. Everflon™ PFA 403.

Die Formtemperatur wird üblicherweise über dem Schmelzpunkt des Harzes eingestellt, im Gegensatz zum Spritzgießen, bei dem die Form auf einer deutlich niedrigeren Temperatur gehalten wird. Die besten Ergebnisse werden in der Regel mit niedrigen Einspritzgeschwindigkeiten und einer bestimmten Nachkühlzeit erzielt. Anschließend wird ein schnelles Abkühlen empfohlen.

Die Betriebsbedingungen müssen für jede Anwendung optimiert werden. Beispielsweise werden niedrige Schmelztemperaturen für große Teile oder bei der Schmelze und Plastifizierung des Harzes im Ofen empfohlen. Hohe Schmelztemperaturen werden für dünne Teile oder bei der Schmelze und Plastifizierung mittels Extruder empfohlen.

Formpressen

Everflon™ PFA lässt sich durch Formpressen zu Halbzeugen wie Platten, Stäben und Folien verarbeiten. Die optimalen Formgebungsbedingungen hängen vom jeweiligen Prozess und der Form des Endprodukts ab. Die Formtemperatur liegt in allen Fällen im Bereich von 340–380 °C.

Fertigungsleitfaden

Spritzgießen

Everflon™ PFA kann nach den gleichen Verfahren wie herkömmliche thermoplastische Kunststoffe spritzgegossen werden. Die niedrigviskosen Sorten sind speziell für das Spritzgießen komplexer Formen konzipiert.

Es wird empfohlen, drei unabhängig voneinander regelbare Heizzonen für den Zylinder und eine für den Adapter zu verwenden. Die Heizregler müssen eine präzise Temperaturregelung bis 450 °C ermöglichen.

Für eine optimale Plastifizierung und zur Reduzierung von Polymerstagnation und thermischer Zersetzung wird eine Schneckenpresse empfohlen. Die Schnecke sollte einen kurzen Übergangsbereich, eine konstante Steigung und ein Steigungsverhältnis von ca. 3:1 zwischen Einzugs- und Dosierbereich aufweisen.

Es wird eine konventionelle, konische Düse empfohlen. Der Durchmesser sollte so groß wie möglich und konisch sein, um Totzonen oder abrupte Änderungen der Harzgeschwindigkeit zu vermeiden. Das Rückschlagventil verhindert, dass das geschmolzene Harz während des Einspritzvorgangs entlang der Schneckenwindungen zurückfließt.

Die Formtemperatur sollte nicht unter 180 °C (355 °F) eingestellt werden, um Delaminationen im Bauteil zu minimieren. Die Optimierung der Werkzeugtemperatur muss die Bauteildicke berücksichtigen, um Schwindung, Oberflächenbeschaffenheit und Zykluszeiten zu minimieren. Der Einspritzdruck sollte je nach Formteil so niedrig wie möglich eingestellt werden. Generell reduziert ein niedriger Einspritzdruck den Verzug und verbessert somit die Dimensionsstabilität. Der Einspritzdruck ist abhängig vom Formteil, seiner Dicke und dem Vorhandensein von Bindenähten. In den meisten Fällen sollte ein Nachdruck angewendet werden, um Schwindung und Lunker zu reduzieren. Die Einspritzgeschwindigkeit sollte moderat niedrig eingestellt werden, um eine gute, glatte Oberfläche zu erzielen.

Umgekehrt müssen zu niedrige Einspritzgeschwindigkeiten vermieden werden, da sie die Füllphase negativ beeinflussen. Generell sind niedrige Drehzahlen erforderlich, auch wenn ein mäßig niedriger Gegendruck zu einer besseren Homogenisierung ohne ungeschmolzene Partikel führen könnte. Eine Erhöhung des Gegendrucks sollte sorgfältig geprüft werden, um einen Anstieg der Schmelztemperatur zu vermeiden.

Das Temperaturprofil entlang des Einspritzzylinders sollte, wie nachfolgend beschrieben, von der hinteren Zone zur Düse hin ansteigen, um eine thermische Zersetzung zu vermeiden. Die Schmelztemperatur sollte 400 °C nicht überschreiten, und die Nachfüllzeit bzw. Verweilzeit muss bei Betrieb mit den höchsten Temperaturen deutlich reduziert werden.

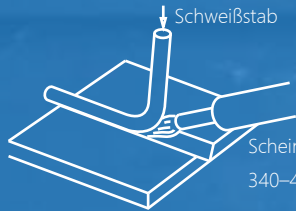
Typical molding conditions for Everflon™ PFA

	Units	410	420
Z1	°C	300	320
Z2	°C	325	345
Z3	°C	335	355
Z4	°C	340	360
Düse	°C	360	380
Schmelztemperatur	°C	380	380
Formtemperatur	°C	200–240	200–240
Einspritzdruck	kg/cm ² (psi)	270 (3,850)	345 (4,900)
Nachdruck	kg/cm ² (psi)	270 (3,850)	345 (4,900)
Schneckendrehzahl	cm/s (mil/s)	0.2 (80)	0.2 (80)
Schneckenrotation	rpm	21	21
Zykluszeit	s	100	100

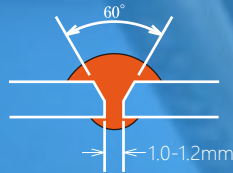
Formabmessungen: 102 mm Scheibe, 3 mm dick

Fertigungsleitfaden

Schweißen



Scheinbare Schweißtemperatur
340–450 °C



Scheinbare Schweißtemperatur



Temperatur in der Flammenmitte
5 mm von der Düse entfernt

Everflon™ PFA sind thermoplastische Werkstoffe, die mit den für gängige Kunststoffe wie PE oder PVC üblichen Schweißverfahren verschweißt werden können. Insbesondere das Heißgasschweißen wird routinemäßig zum Thermoschweißen von Everflon™ PFA-Auskleidungen eingesetzt. Zugversuche an den Schweißnähten haben gezeigt, dass die Verbindungen genauso zuverlässig sind wie das Originalmaterial. Die folgenden allgemeinen Empfehlungen gelten für das Heißgasschweißen von Everflon™ PFA-Auskleidungen.

Ausrüstung

Verwenden Sie Schweißpistolen mit guter Temperaturregelung bis 650 °C und einer Heizleistung von 900–1000 W oder höher. Eine genaue Temperaturmessung ist entscheidend für gleichmäßige Schweißergebnisse. Es empfiehlt sich, die Temperatur des Gasstroms in der Düse, 5–7 mm vom Auslass entfernt, zu messen. Falls Druckluft zum Schweißen verwendet wird, muss diese sauber und trocken sein. Verschiedene Schweißdüsen sind erhältlich. Für die Hauptschweißung werden Hochgeschwindigkeits-Schweißdüsen verwendet, während Heftdüsen die verschiedenen Auskleidungsabschnitte fixieren.

Schweißen

Verwenden Sie runde Schweißstäbe aus demselben Everflon™ PFA-Material wie die zu verschweißenden Profile. Das Verschweißen von Profilen unterschiedlicher Materialqualität wird nicht empfohlen.

Reinigen Sie die zu verschweißenden Oberflächen sorgfältig. Bei gewebekaschierten Blechen entfernen Sie das Gewebe entlang der Schweißnaht (2–3 mm pro Blech), um Fasereinschlüsse zu vermeiden. Richten Sie die beiden zu verschweißenden Bleche mit einem Abstand von maximal 0,5–1 mm aus und halten Sie sie fest.

Formen Sie die Nut zwischen den beiden Blechen mit einem geeigneten Schaber in V-Form. Vermeiden Sie die Verwendung von Behelfswerkzeugen, da dies zu einer unregelmäßigen Schweißnaht führen kann. Reinigen Sie den Schweißbereich und den Schweißstab gründlich.

Reinigen Sie die Düse des Schweißbrenners mit einer Messingbürste, stellen Sie den Luftstrom auf 50–60 Standardliter/Minute ein und stellen Sie die Temperatur des Schweißbrenners gemäß der untenstehenden Tabelle ein.

Halten Sie die Schweißpistole in einem Winkel von 45–60° und passen Sie Schweißdruck und -geschwindigkeit so an, dass Schweißdraht und Bleche gleichzeitig schmelzen. Schweißgeschwindigkeiten im Bereich von 5–30 cm/min (2–12 in/min) sind üblicherweise geeignet.

Ist die Geschwindigkeit zu niedrig, überhitzt der Schweißdraht und kann brechen; ist sie hingegen zu hoch, schmilzt er nicht richtig, und die Fuge zwischen den Blechen wird nicht vollständig mit dem geschmolzenen Material gefüllt. Ebenso wird die Fuge bei zu niedrigem Schweißdruck nicht vollständig gefüllt, während zu hoher Druck Dellen entlang der Schweißnaht verursachen kann, die später als Spannungskonzentrationen wirken.



Everflon Academic Center

Tel: +86-185-7168-9228

info@everflon.com

www.everflon.com

Weitere Informationen über unser Unternehmen, unsere Produkte und unseren Service finden Sie auf unserer Website unter www.everflon.com oder www.everflonultra.com