

EVERFLON^{ACADEMIC}



— Extrusionsführung —

EVERFLON | FEP ETFE
 PFA

Schmelzbare Fluorpolymerharze

Einführung

Die schmelzverarbeitbaren Fluorpolymerharze erweitern die Produktpalette und bieten die vorteilhaften Eigenschaften von Everflon™ PTFE in Produkten, die sich mit herkömmlichen thermoplastischen Verfahren wie Spritzgießen und Extrusion verarbeiten lassen.

Anwendungsgebiete sind alle Bereiche, in denen Konstrukteure und Endanwender einen Thermoplast mit exzellenter chemischer Stabilität, dielektrischen Eigenschaften, Antihafteigenschaft und mechanischer Festigkeit für den Einsatz in extremen Hoch- und Tieftemperaturumgebungen benötigen.

Diese vielseitige Familie schmelzverarbeitbarer Fluorpolymerharze ist von Everflon™ erhältlich und erfüllt spezifische Endanwendungsanforderungen und Verarbeitungsbedürfnisse:

- Everflon™ FEP ist bis 200 °C einsetzbar und behält die chemische Beständigkeit und dielektrische Festigkeit von Everflon™ PTFE-Fluorpolymerharzen bei.
- Everflon™ PFA ist ein Hochleistungsharz mit guten Schmelzverarbeitungseigenschaften und einzigartiger thermischer Stabilität. Es bietet hohe Festigkeit und Steifigkeit bei hohen Temperaturen, ausgezeichnete Beständigkeit gegen Spannungsrisse, hohe Biegefestigkeit und hervorragende elektrische Eigenschaften. Seine Einsatztemperatur liegt bei 260 °C und es ist beständig gegen nahezu alle Chemikalien.
- Everflon™ ETFE ist ein robustes und widerstandsfähiges Material mit ähnlicher chemischer Beständigkeit, elektrischen Eigenschaften und Alterungsbeständigkeit wie andere Everflon™ Fluorpolymerharze. Es ist bis 150 °C einsetzbar und lässt sich mit herkömmlichen thermoplastischen Verfahren hervorragend verarbeiten.

Everflon™ Fluorpolymerharze weisen höhere Schmelzpunkte und Schmelzviskositäten als die meisten Thermoplaste auf. Bei der Verarbeitung mit den in diesem Leitfaden beschriebenen Verfahren erzielen sie hervorragende Ausbeuten und Produktionsraten.

Eigenschaften von Everflon™ Fluorpolymeren für die Extrusion

Property	Unit	ASTM standard	FEP	PFA	ETFE
Schmelzpunkt	°C	DSC	260	310	260
Schmelzflussrate (MFR)	g/10min		6-12	6-14	6-12
Dichte	--	D792	2.15	2.15	1.7
Zugfestigkeit bei 23 °C	MPa	D2116	24	26	45
Dehnung bei 23 °C	%	D2116	330	350	400
Schlagzähigkeit (Izod)	kg-cm	D256A		No Break	
Härte (Dorometer)	--	D2240	D56	D60	D70
Biegemodul	Mpa	D790	550	580	1200
Widerstandswiderstand	Ω-cm	D257		>10 ¹⁷	
Dielektrizitätskonstante	1 MHz	D150	< 2.1	< 2.1	< 2.6
Dielektrizitätszahl	1 MHz	D150	0.0007	0.0001	0.0007
Durchschlagsfestigkeit	kV/mm	D149	78	78	70
Entflammbarkeit	--	UL94		V-0	
Sauerstoffindex	--	D2863		>95	
Chemikalienbeständigkeit				Excellent	
Wasseraufnahme	%	D570		< 0.03	

FARBKONZENTRATE

Everflon™ FEP und PFA sowie ETFE können mit handelsüblichen Farbkonzentraten von Everflon+™ eingefärbt werden. Die Dosierung variiert, ist aber in der Regel so gering, dass sie die mechanischen Eigenschaften des Fluorpolymers im Endprodukt nicht merklich beeinflusst. Es ist jedoch wichtig, dass das Farbkonzentrat mit demselben Basisharz vermischt wird, das auch beim Verdünnen verwendet wird.

Die meisten modernen kontinuierlichen Extrusionsanlagen verwenden ein kommerzielles Farbdosiersystem. Beachten Sie in diesem Fall die Bedienungsanleitung des Herstellers. Falls keine Herstelleranleitung verfügbar ist, kann das folgende Verfahren angewendet werden.

Das folgende Verfahren beschreibt das Trockenmischen (Verdünnen) von Farbkonzentrat-Pellets in Everflon™ Fluorpolymer-Pellets.

1. Trocknen Sie das Farbkonzentrat einige Stunden bei 95 °C in einem belüfteten oder Vakuumofen. Das Basisharz muss nicht getrocknet werden. Es ist jedoch zu beachten, dass Harz, das im Winter aus unbeheizten Lagerräumen stammt, Kondenswasser bilden kann, sobald es in den warmen Extrusionsbereich gelangt. Lassen Sie das Harz vor der Verwendung akklimatisieren.
2. Wiegen Sie das Konzentrat entsprechend dem benötigten Anteil für die Harzmenge ab (z. B. 1 %).
3. Geben Sie das Farbkonzentrat in einen sauberen, trockenen Behälter zum Harz.
4. Mischen oder schütteln Sie Harz und Farbkonzentrat mindestens 15 Minuten lang oder bis eine homogene Mischung entsteht. Geben Sie die Mischung in den Extrudertrichter. Während der Verwendung mit einem Deckel oder Aluminiumfolie abdecken.
5. Nicht verwendete Farbkonzentrat-Pellets sollten in luftdichten Behältern aufbewahrt werden. Andernfalls müssen sie vor der weiteren Verwendung erneut getrocknet werden.

AUSRÜSTUNG

Extruder

Die Funktion eines Extruders besteht darin, thermoplastische Granulate in geschmolzenes Harz umzuwandeln und die Schmelze mit gleichmäßiger Geschwindigkeit und Temperatur zuzuführen. Konventionelle Einschneckenextruder werden zur Verarbeitung von Fluorpolymeren eingesetzt. Das Verhältnis von Länge zu Durchmesser (L/D) variiert zwischen 20:1 und 30:1. Längere Extruder mit einem Verhältnis von 28:1 oder mehr haben sich jedoch als optimal erwiesen. Diese längeren Maschinen ermöglichen stabilere Ausstoßmengen bei hohen Produktionsraten. Die zur Plastifizierung des Harzes benötigte Energie stammt aus der viskosen Reibung, die durch die mechanische Wirkung der sich drehenden Schnecke entsteht, sowie aus der von den Zylinderheizungen abgeleiteten Wärme. Die sich drehende Schnecke vermischt die Schmelze und bestimmt zusammen mit den Abmessungen der Dosierzone die Schmelzausstoßmenge des Extruders. Die Dimensionierung des Extruders für die gewünschte Ausstoßmenge einer gut durchmischten Schmelze ist entscheidend für den Erfolg. Maschinen mit kleinerem Durchmesser benötigen höhere Schneckendrehzahlen, um die Ausstoßmenge langsamerer, größerer Extruder zu erreichen. Eine angemessene Drehzahl im Bereich von 20 bis 50 U/min ist jedoch optimal.

Bei kleinen, kurzen Extrudern, die mit hohen Temperaturen und Drehzahlen betrieben werden müssen, um die gewünschte Ausbringungsmenge zu erzielen, traten Verarbeitungsprobleme wie der Verlust der Schmelzfestigkeit auf. Ähnliche Probleme wurden bei großen, langsam laufenden Maschinen beobachtet. Unzureichende Durchmischung und lange Verweilzeiten können zu einer instabilen Schmelze und damit zu schlechten Verstreckeigenschaften führen.

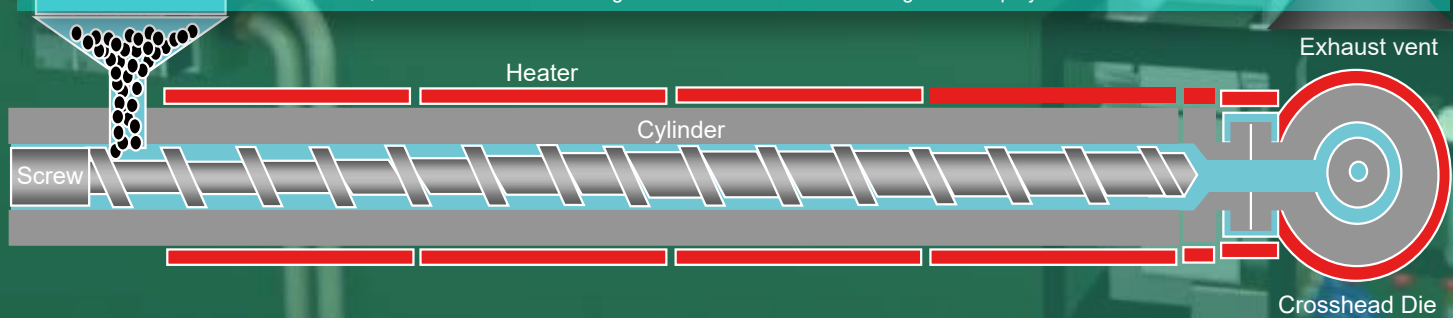
Konstruktionsmaterialien

Die Schmelzverarbeitung von thermoplastischen Polymeren führt zu Harzersetzung und zur Bildung von Nebenprodukten. Die Nebenprodukte aus geschmolzenem Fluorpolymer sind gegenüber den meisten Metallen korrosiv. Die Korrosion wird durch die Zersetzung des Harzes beschleunigt und kann minimiert werden durch:

Vermeidung übermäßig hoher Betriebstemperaturen und Verwendung strömungsoptimierter Harzkanäle. Harzansammlungen, Toträume usw. können dazu führen, dass Harz durch längere Einwirkung hoher Temperaturen abgebaut wird.

Daher ist es notwendig, Extrusionsanlagen aus korrosionsbeständigen, nickelreichen und eisenarmen Legierungen zu verwenden.

Alle produktberührenden Teile, wie z. B. Trommelauskleidungen, Siebe, Brecherplatten, Adapter, Kreuzköpfe und Werkzeuge, müssen aus diesen Legierungen gefertigt sein. Freiliegende Teile, wie z. B. Klemmen, müssen durch eine hochwertige Nickelbeschichtung geschützt werden. Eine Reihe solcher Teile ist im Handel erhältlich, und Händler beraten Sie gerne zur korrekten Verwendung mit Fluorpolymeren.



Schneckenkonstruktion

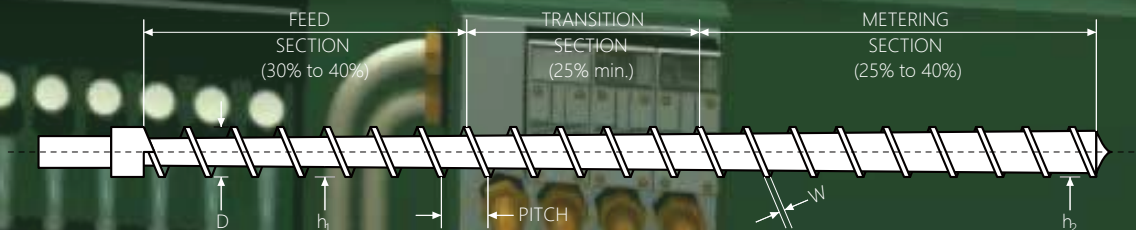
Die meisten herkömmlichen Einschneckenkonstruktionen eignen sich zufriedenstellend für Fluorpolymere. Die Leistung variiert je nach Schneckenkonstruktion.

Schneckenkonstruktionen mit langen Einzugsabschnitten, einem Kompressionsverhältnis von ca. 3:1, progressiven Kernprofilen und Schmelzemischelementen mit geringer Scherung werden häufig eingesetzt und sind die bevorzugte Wahl. Begrenzte Erfahrungen deuten darauf hin, dass auch Schnecken mit variabler Steigung und Barrierenschnecken für Fluorpolymere geeignet sind. Extruderbetreiber sollten solche Konstruktionen jedoch mit Vorsicht behandeln.

Bei einer Schnecke mit quadratischer Steigung bewegt sich das Material pro Windung um einen Schneckendurchmesser. Eine Schnecke mit quadratischer Steigung und einem konstanten Steigungswinkel von 17,7 Grad ist üblich.

Das bedeutet, dass das Längen-Durchmesser-Verhältnis (L/D-Verhältnis) der Anzahl der Windungen entspricht, die auf die einzelnen Schneckenabschnitte (Einzug, Übergang, Dosierung und Mischung) verteilt werden müssen. Beispielsweise hat eine Schnecke mit quadratischer Steigung und einem Längen-Durchmesser-Verhältnis von 28:1 28 Windungen.

Das Fördern, Schmelzen und Mischen der Harzwürfel erfolgt im Einzugsabschnitt. Ein langer Einzugsbereich mit mindestens 8 Windungen gewährleistet die erforderliche Verweilzeit. Wichtig ist ein ausgewogenes Verhältnis zwischen der durch mechanische Reibung und die Zylinderheizung erzeugten Energie. Dies wird durch die Schneckendrehzahl erreicht. Die Schneckensteigung muss ausreichend tief sein, um die Harzpellets zu verdichten, aber gleichzeitig genügend Kerndurchmesser für die mechanische Festigkeit zu erhalten. Der progressive Übergangsbereich verbindet den Einzugsbereich mit dem Dosierbereich. Die Verdichtung erfolgt über 3 bis 4 Schneckensteigungen. Mit abnehmender Steigungstiefe ist der Schmelzprozess abgeschlossen, und Luft oder Gas wird durch den Einzugskanal nach oben gedrückt und entweicht. Dadurch entsteht ein volumetrisch gefüllter Steigungskanal zum Dosierbereich. Dies ist entscheidend für einen konstanten Schmelzausstoß. Die Schmelze wird durch Reibung an den Oberflächen im Dosierbereich der Schnecke transportiert. Der Ausstoß ist direkt proportional zur Schneckendrehzahl. Ein Dosierbereich mit 5 bis 7 Steigungen erzeugt üblicherweise ausreichend Druck, um die Schmelze durch Sieb, Kopf und Werkzeug zu fördern. Die Steigungstiefen im Dosierbereich sind gering, um das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen zu maximieren. Dies minimiert auch den Rückfluss der Schmelze durch Druckaufbau. Es ist wichtig zu verstehen, dass es sich um einen volumetrischen Prozess handelt. Die Fördermenge wird durch die Querschnittsabmessungen des Dosierkanals und die Drehzahl der Schnecke bestimmt. Dosierkanäle mit großem Durchmesser und großer Tiefe erfordern deutlich niedrigere Drehzahlen als Maschinen mit kleinem Durchmesser und geringer Tiefe. Bei der Spezifizierung neuer Maschinen oder neuer Schnecken für bestehende Maschinen sollten Sie zunächst die Abmessungen des Dosierkanals für eine mittlere Drehzahl berechnen, die die gewünschte Fördermenge ergibt. Auf dieser Basis lassen sich mit einem typischen Kompressionsverhältnis (z. B. 3:1) die übrigen Schneckenabmessungen leicht bestimmen.



Trichtertrockner

Fluorpolymerharze absorbieren kein Wasser. Sie nehmen jedoch Oberflächenfeuchtigkeit auf, insbesondere beim Transport vom Kühlhaus in den warmen Verarbeitungsraum. Da Farbkonzentrate hygroskopisch sein können, hat sich die Trocknung von Harz und Konzentrat als wirksam erwiesen, um feuchtigkeitsbedingte Fehler zu vermeiden. Die Chargetrocknung vor der Extrusion ist zwar effektiv, kann aber bei der Verarbeitung großer Harzmengen aufwendig sein.

Fluorpolymere benötigen keine entfeuchtete Luft. Heißluft kann die Oberflächenfeuchtigkeit durch einmaliges Durchströmen entfernen. Temperaturen von 120 bis 160 °C mit einer Vorlaufzeit von 1 bis 2 Stunden sind im Allgemeinen wirksam. Die Abluft aus dem Trichter muss sicher abgeleitet werden. Trichterheizgeräte für Fluorpolymere sind im Handel erhältlich.

Siebpaket und Brecherplatte

Für die Extrusion von Fluorpolymeren können eine Brecherplatte und ein Siebpaket verwendet werden. Sie erzeugen zusätzlichen Gegendruck für eine bessere Dispersion von Pigment oder Füllstoff in der Schmelze. Der Prozess sollte so sauber sein, dass keine Entfernung von Verunreinigungen oder Farbaggglomeraten durch Sieben erforderlich ist. Die Löcher der Brecherplatte sollten beidseitig angefasst sein, um Harzrückstände und Abscherungen an scharfen Kanten zu vermeiden. Eine typische Anordnung besteht aus einem 120-Mesh-Sieb (0,125 mm), das zwischen zwei 80-Mesh-Sieben (0,177 mm) angeordnet ist. Die Siebe sollten aus korrosionsbeständigen Fluorpolymerlegierungen gefertigt sein.

Adapter

Der Adapter, der den Querkopf mit dem Extruderzylinder verbindet, muss für einen optimalen Schmelzefluss innen strömungsgünstig gestaltet sein. Konische Querschnittsverengungen sollten mit einem maximalen Öffnungswinkel von 30° erfolgen. Er muss außerdem über ein Heizband mit Temperaturregler verfügen. Der Versuch, unzureichende Adaptertemperaturen durch höhere Zylindertemperaturen auszugleichen, kann zu Materialermüdung und potenziellen Sicherheitsrisiken beim Anfahren führen. Erstarrtes Harz im Adapter behindert den Schmelzefluss aus dem Extruder.

Querkopf

Üblicherweise wird ein konventioneller Extruderquerkopf verwendet. Es sind jedoch auch andere Bauformen erhältlich. Inline- oder Durchgangsquerköpfe kommen beim Extrudieren von Endlosprofilen wie Schläuchen zum Einsatz. Zahlreiche kommerzielle Varianten sind verfügbar.

Es ist wichtig, dass der Extrusionskopf ein einfaches, strömungsoptimiertes Muster ohne Strömungstau aufweist. Die Größe hängt vom gewünschten Extrusionsendprodukt ab. Die beste Wahl ist jedoch das kleinste verfügbare Volumen mit der kürzesten Verweilzeit, das die Anforderungen an das Endprodukt erfüllt. Schmelzbruch, der später in diesem Dokument erläutert wird, kann die Produktionsrate begrenzen.

Everflon™-Fluorpolymere besitzen jedoch eine gute Schmelzfestigkeit, wodurch große Abzugsverhältnisse möglich sind, um den Effekt des Schmelzbruchs zu minimieren.

Ebenso wichtig ist die Spezifizierung von korrosionsbeständigen Werkstoffen für die Konstruktion des Fluorpolymers. Hersteller verwenden verschiedene Legierungen, die Korrosionsbeständigkeit mit einfacher Bearbeitbarkeit und ansprechendem Aussehen nach der Verwendung mit Fluorpolymeren in Einklang bringen.

Heizbänder

Heizbänder sollten über eine ausreichende Kapazität verfügen, um eine maximale Temperatur von 425 °C während des Betriebs zu ermöglichen. Leistungsdichten von 4,65 W/cm² oder höher können verwendet werden. Proportional-, Integral- und Differenzialregler (PID) oder gleichwertige Regler sind Voraussetzung für einen stabilen Schmelzextrusionsausstoß.

Lokale Absaugung

Die Schmelzverarbeitung aller thermoplastischen Polymere, einschließlich thermoplastischer Fluorpolymere, führt zu einem gewissen Abbauprozess, bei dem Gase, Dämpfe oder Rauchgase freigesetzt werden können, die gesundheitsschädlich sind oder unangenehme Gerüche verursachen. Am effektivsten lassen sich diese Emissionen kontrollieren, indem sie direkt an der Quelle erfasst und mittels Absaugung entfernt werden, bevor sie sich in der Arbeitsplatzluft verteilen können. Dieses Erfassungsverfahren wird als lokale Absaugung (LEV) bezeichnet. LEV ist effektiv, da im Vergleich zu den sehr großen Luftmengen, die für den Luftaustausch in einem gesamten Arbeitsbereich oder einer Fabrik erforderlich sind, nur ein relativ geringes Luftvolumen benötigt wird, um die aus dem Kunststoff freigesetzten Schadstoffe zu erfassen und abzuführen. Darüber hinaus kann die Erfassung der Schadstoffe direkt an der Quelle die Exposition der Arbeiter gegenüber Chemikalien nahezu vollständig eliminieren.

EXTRUDERBETRIEB

Für einen erfolgreichen Extrusionsprozess ist die Beachtung vieler Details unerlässlich, darunter: die Qualität und der Materialfluss des Ausgangsmaterials, ein An- und Abfahren, das weder das Polymer schädigt noch die Anlage und den Bediener gefährdet, ein Temperaturprofil des Extruders, das den Prozess bei der gewünschten Schmelztemperatur und der erforderlichen Produktionsrate sicherstellt und steuert, eine ausreichende lokale Absaugung sowie die sachgemäße Handhabung des Harzes.

Handhabung des Harzes

Kondenswasserbildung auf der Harzoberfläche ist zu vermeiden. Einige der verwendeten Additive, wie Pigmente oder Nukleierungskonzentrate, können Feuchtigkeit aufnehmen. Das Harz sollte vor der Verwendung bis zu 24 Stunden am Arbeitsplatz akklimatisiert werden. Das Harz muss unbedingt frei von Verunreinigungen gehalten werden. Säcke und andere Behälter mit Harz sollten bis zur Verwendung verschlossen sein. Verwenden Sie abgedeckte Trichter und Lagerbehälter, um Verunreinigungen zu vermeiden. Verunreinigungen führen häufig zu Fehlern im Extrudat, wie z. B. Funkenbildung in der Drahtisolierung.

Schmelzfluss

Fluorpolymerharze sind bei den empfohlenen Verarbeitungstemperaturen deutlich viskoser als die meisten anderen thermoplastischen Harze. Schmelzviskosität und Schmelzflussrate (MFR), die Menge an Schmelze in Gramm, die unter konstantem Druck und konstanter Temperatur innerhalb von 10 Minuten durch eine bestimmte Düse fließt, beschreiben den Fluss der Polymerschmelze. Diese Eigenschaften werden unter standardisierten Scher- und Temperaturbedingungen gemessen.

ASTM-Normen definieren diese Werte und ihre Messmethoden. Die Viskosität (bei konstanter Scherspannung) dieser Fluorpolymerharze ist umgekehrt proportional zu ihrer Temperatur. Der Schmelzfluss von Everflon™ FEP- und PFA-Fluorpolymeren durch kleine Düsenöffnungen oder ähnliche Profilwerkzeuge ist aufgrund der hohen Schmelzviskosität und der niedrigen kritischen Scherrate der Polymere begrenzt. Sie besitzen jedoch eine ausreichende Schmelzfestigkeit, um die Extrusion durch größere Werkzeuge und das anschließende Verstrecken auf die erforderliche Größe zu ermöglichen. Everflon™ ETFE-Fluorpolymere weisen eine geringere Schmelzfestigkeit als Everflon™ FEP- und PFA-Fluorpolymere auf und lassen sich daher nicht so stark verstrecken. Die höheren kritischen Scherraten von Everflon™ ETFE-Fluorpolymerschmelzen ermöglichen jedoch vergleichbare Extrusionsraten.

Schmelzbruch

Wenn ein thermoplastisches Harz durch eine Düse oder Profilöffnung fließt, weist die resultierende Schmelze eine glatte Oberfläche auf. Mit steigendem Durchsatz erreicht die Fließgeschwindigkeit einen Punkt, an dem Oberflächenrauheit sichtbar wird. Diese Rauheit, der sogenannte Schmelzbruch, entsteht durch die Reibung zwischen der Schmelze und den Werkzeugwänden. Bei geringeren Durchsätzen bremsst die Reibung den Fluss an der Werkzeugwand. Bei höheren Durchsätzen versucht sie, den Fluss zu stoppen; dies wird jedoch durch den Prozessdruck, der die Schmelze vorwärts treibt, überwunden. Das Ergebnis ist eine unregelmäßige oder turbulente Oberflächenströmung, die die raue Oberfläche verursacht. Eine zu hohe Extrusionsgeschwindigkeit im Verhältnis zur Schmelzviskosität, Werkzeuggröße und Anlagentemperatur ist die häufigste Ursache für Schmelzbruch. Schmelzbruch tritt bei Fließgeschwindigkeiten oberhalb der kritischen Scherrate der Polymerschmelze auf. Diese Rate ist temperaturabhängig, daher lässt sich die Ausbeute oft durch Erhöhung der Schmelztemperatur steigern. Die Schmelztemperatur sollte jedoch stets unterhalb derjenigen liegen, die zu Polymerabbau führt.

Bei Verwendung von Pigmenten oder Nukleierungsmitteln ist der Kegel undurchsichtig; Schmelzbruch ist daher nur an der Außenfläche sichtbar. Es ist wichtig, die Extrusion unter Bedingungen durchzuführen, die keinen Schmelzbruch verursachen.

Versuche mit unpigmentiertem Harz können hilfreich sein, um diese Bedingungen zu ermitteln. Die Untersuchung des extrudierten Produkts, innen wie außen, hilft ebenfalls, das Vorhandensein von Schmelzbruch zu erkennen.

Rauheit aufgrund von Feuchtigkeit, Verunreinigungen oder Füllstoffen kann fälschlicherweise für Schmelzbruch gehalten werden. Eine kurzzeitige Reduzierung des Durchsatzes verringert oder beseitigt Schmelzbruch, sofern dieser die Ursache für die Oberflächenrauheit ist. Bleibt die Rauheit hingegen auch bei geringen Ausbeuten bestehen, sollten entsprechende Korrekturen aufgrund von Feuchtigkeit oder Verunreinigungen vorgenommen werden.



Ein typisches Rohrextrusionsprodukt wird in einen Vakuumkalibrator eingezogen. Das Rohr ist glänzend, hat eine glatte Oberfläche und ist klar. Es sind keine Schmelzrisse erkennbar.



Dasselbe Extrusionsprodukt bei höherer Durchsatzrate zeigt deutliche Schmelzrisse im Konus.

Scherspannung und Schergeschwindigkeit

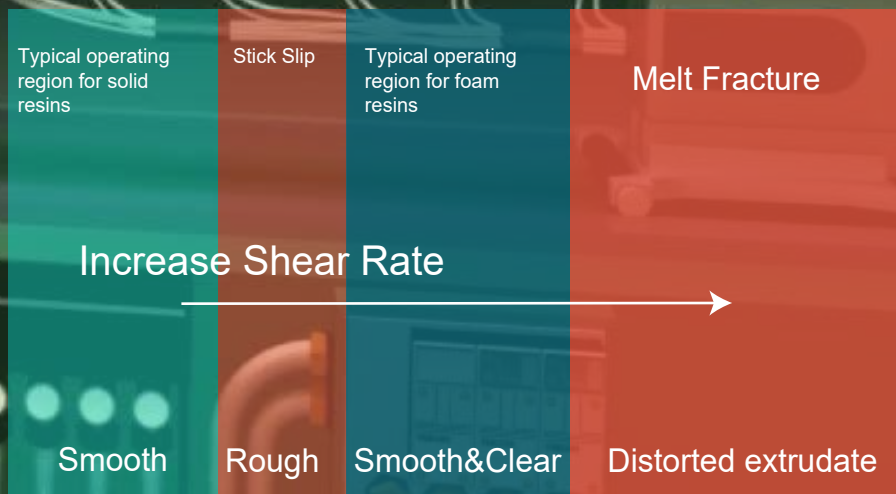
Die Abbildung zeigt eine Karte möglicher Fließbedingungen für Everflon™ FEP- und PFA-Fluoropolymerharze bei konstanter Schmelz- und Düsentemperatur. Everflon™ ETFE-Fluoropolymere weisen dieses regionale Muster nicht auf. Die Karte stellt die Scherspannung in Abhängigkeit von der Schergeschwindigkeit dar und veranschaulicht, wie die Scherspannung mit zunehmender Schergeschwindigkeit ansteigt.

Die Karte definiert vier mögliche Bereiche des Extrusionsverhaltens. Bei sehr niedrigen Ausstoßraten kann es zu thermisch bedingtem Harzabbau kommen.

- Bereich I ist der breite Bereich des Normalbetriebs, in dem nahezu die gesamte Extrusion stattfindet.
- Bereich II beschreibt den Übergang von einem glatten zu einem rauen, „schmelzgebrochenen“ Extrudat durch Erhöhung des Harzflusses durch das Werkzeug. Während dieses Übergangs durchläuft die Polymerschmelze ihre „kritische Schergeschwindigkeit“. Diese kritische Schergeschwindigkeit gilt für die spezifischen Extrusionsbedingungen.
- In Bereich III, der üblicherweise als „Superscherbereich“ bezeichnet wird, wird wieder ein glattes Extrudat erhalten. Überscherung tritt auf, wenn die Polymerschmelze ihre Haftung an der Werkzeugoberfläche verliert. Dieses Phänomen geht mit einem signifikanten Abfall des Extrudatkopfdruks einher, wodurch der Schmelzfluss behindert wird. Höhere Ausstoßraten lassen sich so erzielen, jedoch verändern sich üblicherweise die gemessenen mechanischen Eigenschaften des resultierenden Produkts.
- In Bereich IV wird das Extrudat wieder übermäßig rau.

Bei gegebener Werkzeuggeometrie steigt die Scherrate direkt proportional zur Schmelzausstoßrate. Die Scherspannung steigt mit zunehmendem Druck.

Wie bei vielen nicht-fluorpolymeren thermoplastischen Schmelzen zeigt die Scherspannung in Everflon™ ETFE-Fluoropolymerharzen einen nahezu direkten Anstieg mit zunehmender Scherrate. Abhängig von Molekulargewicht und Verarbeitungstemperatur können diese Everflon™-Fluoropolymerharze bereits bei Scherraten von 10 bis 100 $\times 10^3 \text{ s}^{-1}$ Schmelzbruch aufweisen. Everflon™ FEP 4622 mit einem Schmelzflussindex (MFR) von 22, extrudiert bei einer Schmelztemperatur von 400 °C, bricht nach etwa 500 Sekunden. Ähnlich verhält es sich mit verschiedenen Everflon™ ETFE-Fluoropolymeren; der Schmelzbruch liegt zwischen 200 und 3000 Sekunden.



Extrudate Appearance in Flow Regions I, II, III, IV

Dehnungsbruch

Beim Durchpressen der Polymerschmelze durch das Werkzeug wird das Polymer einer Scherung ausgesetzt, die bei Überschreiten der kritischen Scherrate zum Schmelzbruch führt. Die Schmelze wird unmittelbar nach dem Austritt aus dem Werkzeug im Kegel nach unten gezogen. Durch diesen Abzug wird zusätzliche Scherung induziert.

Wird die Schergrenze überschritten, erscheint der Kegel trüb (sofern kein Pigment verwendet wird), und es entstehen Nadellöcher und/oder Risse im Schmelzfluss. Unter extremen Bedingungen bricht der Kegel.

Die Geschwindigkeit des Abzugs ist ebenfalls wichtig. Ein zu schnelles Absinken verursacht ebenfalls Löcher, Risse und Kegelbrüche. Die Gesamtscherkraft, die ein Polymer in diesem Prozess aushalten kann, wird als sein „Scherbudget“ bezeichnet. Dieses Budget wird teilweise durch die drei Prozessstufen verbraucht, die die Scherung beeinflussen: Werkzeugscherung, Dehnungsscherung und Geschwindigkeit der Dehnungsscherung. Wenn eine dieser Phasen oder die Kombination aller drei Phasen die Scherfestigkeit der Polymerschmelze überschreitet, wird der Prozess instabil. Es besteht jedoch die Möglichkeit, den Anteil der an der Schmelze geleisteten Arbeit von der Werkzeugbearbeitung auf die Dehnscherung zu verlagern. Die zusätzliche Berücksichtigung von Dehnscherung und Dehngeschwindigkeit reduziert effektiv die „kritische Scherrate des Prozesses“.

Everflon™ FEP 4622 mit einem Schmelzflussindex (MFR) von 22, extrudiert bei 400 °C, zeigt beim Austritt aus dem Werkzeug (d. h. nur Werkzeugscherung) nach etwa 550 reziproken Sekunden Schmelzbruch. Beim Aufziehen auf Draht (d. h. unter Berücksichtigung von Werkzeug-, Dehn- und Dehngeschwindigkeitsscherung) ist der Durchsatz auf 350 reziproke Sekunden begrenzt. Dies erklärt, warum Verarbeiter von Fluorpolymeren selten den durch die kritische Scherrate des Polymers beschriebenen potenziellen Extrusionsdurchsatz erreichen.

Ziehverhältnis

Das Ziehverhältnis (DDR) ist definiert als das Verhältnis der Querschnittsfläche des Werkzeugspalts zur Querschnittsfläche des fertigen Profils.

Die Isolierung bzw. Ummantelung von Drähten und Kabeln wird größtenteils durch Rohrextrusion hergestellt. Die Rohrprofilierung ist das gängigste Verfahren zur Extrusion von Fluorpolymeren, und die Herstellung von Röhren und Schläuchen erfolgt durch Rohrziehen. Bei dieser Art der Rohrprofilierung wird eine kreisförmige Düse (oder ein Dorn) in eine kreisförmige Matrize eingesetzt, um einen ringförmigen Spalt mit gemeinsamem Mittelpunkt zu bilden. Die Querschnittsfläche entspricht somit der Fläche, die durch den Matrizenumfang abzüglich der Fläche, die durch den Düsenumfang beschrieben wird. Analog dazu entspricht die Querschnittsfläche des Produktprofils (Rohr oder Rohrisolierung am Draht) der Fläche, die durch den Außenumfang abzüglich der Fläche, die durch den Innenumfang beschrieben wird. Diese vier Flächen lassen sich leicht mit grundlegenden geometrischen Formeln berechnen. Da sich gemeinsame Terme jedoch aufheben, kann das DDR sehr einfach mit dem Durchmesserquadrat berechnet werden.

Eine Erhöhung des Ziehverhältnisses verringert die Scherkräfte im Werkzeug. Schmelzbruch tritt erst bei höherem Durchsatz auf. Dies ermöglicht höhere Liniengeschwindigkeiten. Ein höheres Ziehverhältnis (DDR) reduziert zudem das Risiko von Drahttropfen. In einigen begrenzten Versuchen führte ein höheres DDR zu besseren elektrischen Eigenschaften, da sich das Polymer enger an den Draht anlegte. Ein niedrigeres Ziehverhältnis erhöht die Scherkräfte im Werkzeug und führt zu einem früheren Einsetzen von Schmelzbruch. Allerdings ergibt ein niedrigeres DDR einen stabileren Ziehkegel. Dies verringert die Neigung zu Kegelbrüchen und verbessert die Konsistenz der Durchmesserkontrolle. Die optimale Produktionsrate stellt ein akzeptables Gleichgewicht zwischen Liniengeschwindigkeit und der erforderlichen Endproduktqualität dar. Kleinere Drahtkonstruktionen werden üblicherweise schneller hergestellt als größere, und die Rohrherstellung, bei der Durchmesserkontrolle und Wandstärkenkonzentrität von großer Bedeutung sind, erfolgt stets mit niedrigem DDR und geringer Liniengeschwindigkeit.

Ausgewogenes Abzugsverhältnis

Das Ausgewogene Abzugsverhältnis (ABV) ist definiert als das Verhältnis der Absenkgeschwindigkeit des äußeren Teils des Abzugskegels zur Absenkgeschwindigkeit des inneren Teils. Ein perfektes Ausgewogenes entspricht 1,00.

Ein falsches ABV ist die häufigste Ursache für Werkzeugprobleme bei der Schmelzextrusion von Everflon™-Fluorpolymeren. Ist das ABV deutlich größer als 1,0, kommt es aufgrund des überschüssigen Polymers am äußeren Profil zu Rissen. Ist das ABV deutlich kleiner als 1,0, führt das überschüssige Polymer im inneren Profil zu Falten. Daher ist die korrekte Dimensionierung des Werkzeugs für eine gute Extrusion unerlässlich.

Konuslängensteuerung

Beim Drahtummanteln wird die Konuslänge durch Anlegen eines Vakuums an das Konusinnere über eine Bohrung im Kreuzkopfkernrohr verkürzt und gesteuert.

Durch diese Bohrung wird der Leiterdraht geführt. Das Vakuum kann einfach mit einer Vakuumpumpe erzeugt und über ein Nadelventil gesteuert werden.

Durch Verkürzen des Kegels wird die Zeit für das Einziehen der Schmelze reduziert. Dies erhöht die Ausdehnungsgeschwindigkeit, was bei immer kürzer werdendem Kegel zu Löchern, Rissen und Kegelbrüchen führen kann. Lange Kegellängen verursachen sichtbare Kegelschwingungen oder -tänzelungen, die Durchmesserschwankungen im Endprodukt zur Folge haben. Das Vakuum ist üblicherweise vom Bediener einstellbar, um einen stabilen Prozess zwischen den Fehlern langer und kurzer Kegellängen zu gewährleisten.

Bei der Rohrerstellung wird die Kegellänge durch den Abstand zwischen der Werkzeugvorderseite und der Kalibrierdüse im Vakuumtank bestimmt. Der Vakuumtank ist üblicherweise einstellbar.

Manchmal wird im Inneren des Kegels Vakuum angelegt, um das Einziehen zu unterstützen. In anderen Fällen, in denen das Einziehverhältnis gering ist oder der Kegel auf ein größeres Durchmesserprofil gezogen wird, wird etwas Luft in das Innere des Kegels geleitet, um die Kalibrierdüse vollständig zu füllen.

Schmelztemperatur

Der Einfluss der Schmelztemperatur auf die Viskosität und die Verstreckeigenschaften des Polymers ist ein wichtiger Faktor bei der Schmelzextrusion von Everflon™ FEP, PFA und ETFE.

Der Bediener muss die optimale Schmelztemperatur für den Prozess wählen. Strukturierte Versuche haben gezeigt, dass Schmelztemperatur und Verstreckverhältnis die beiden wichtigsten Prozessparameter für Ausbeute und Qualität sind.

Das Fluorpolymer sollte unmittelbar vor Eintritt in die Dosierzone vollständig aufgeschmolzen sein. Eine unzureichende Schmelzefüllung der Dosierzone kann zu schwankender Ausbeute führen.

Eine Prozesskontakt-Schmelztemperatursonde ist unerlässlich. Die Schmelztemperatur variiert erheblich bei Änderung des Durchsatzes, das Wärmeprofil muss jedoch konstant gehalten werden.

Drahtvorwärmung

Die Kontrolle des Drahtbeschichtungsprozesses und die nachfolgende Kabelleistung werden maßgeblich von der Temperatur des Leiterdrahts beeinflusst, während die Polymerschmelze auf den Draht aufgetragen wird. Ein kalter Leiter entzieht der Spitze Wärme, wodurch Schmelzbruch im Inneren des Konus wahrscheinlicher wird.

Daher wird eine Vorwärmung des Drahts empfohlen. Dies erfolgt üblicherweise durch einen induktiven Inline-Vorwärmer.

Erfahrungsgemäß liegt der optimale Betriebsbereich jedoch bei etwa 150 °C. Die Haftung des Polymers am Leiter lässt sich bis zu einem gewissen Grad durch Vakuum- und Vorwärmregelung anpassen.

Abschreckstrecke

Rohrprofile werden im Vakuumtank gekühlt, üblicherweise durch zirkulierendes Wasser mit geregelter Temperatur. Die Drahtbeschichtung wird zunächst an der Luft und anschließend mit Abschreckwasser abgekühlt. Everflon™ FEP, PFA und ETFE schrumpfen beim Abkühlen in den festen Zustand.

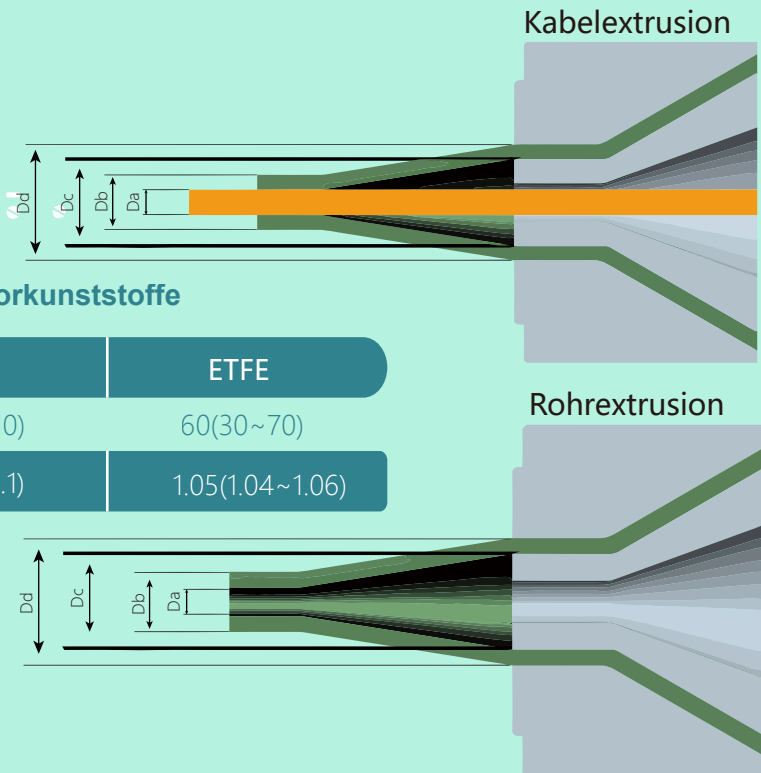
Wie die meisten Polymere sind Everflon™ FEP, PFA und ETFE gute Isolatoren. Wird die Außenfläche einer Drahtisolierung abgekühlt, um die Polymeroberfläche zu verfestigen, zieht sich die Innenseite aufgrund der langsameren Wärmeabgabe vom Draht zurück. Die dadurch entstehenden Hohlräume entlang des Leiters beeinträchtigen die Kabelleistung. Diese ungleichmäßige Abkühlung lässt sich am besten verhindern, indem der beschichtete Draht vor der Wasserabschreckung so lange wie möglich an der Luft abkühlt. Mit steigender Produktionsgeschwindigkeit nimmt die Wirksamkeit des Luftspalts in den meisten Prozessen ab. Der Effekt der Wasserabschreckung kann mitunter durch eine kurze Heißwasserabschreckung vor dem Luftspalt kontrolliert werden. Bei Anlagen, in denen der Platz für einen langen Luftspalt nicht ausreicht, sind Versuche erforderlich, um das effektivste Kühlsystem zur Vermeidung von Hohlräumen entlang des Leiters zu ermitteln.

$$DDR=(D^2d-D^2c) / (D^2b-D^2a)$$

$$DRB=(D^2d-D^2b) / (D^2c-D^2a)$$

Empfohlene DDR- und DRB-Werte für Everflon™-Fluorkunststoffe

Materials	FEP	PFA	ETFE
DDR	100(90~110)	100(90~110)	60(30~70)
DRB	1.05(0.9~1.1)	1.05(0.9~1.1)	1.05(1.04~1.06)



INBETRIEB

Vor Inbetriebnahme

1. Sofern sich nicht bereits das gleiche Harz aus einem vorherigen Produktionslauf in der Maschine befindet, sollte der gesamte Extruder gereinigt werden, einschließlich Einfülltrichter, Zylinder, Schnecke, Brechplatte, Kreuzkopf, Düse und Spitze. Falls Sie Siebpakete verwenden, ersetzen Sie diese bei der Reinigung. Hinweis: Stellen Sie sicher, dass für alle Teile korrosionsbeständige Fluorpolymerlegierungen verwendet wurden.
2. Prüfen Sie den Zustand und die Passgenauigkeit aller Heizbänder und elektrischen Anschlüsse.
3. Prüfen Sie, ob die Thermoelemente korrekt sitzen und ihre Anschlüsse fest sind.
4. Prüfen Sie die Druckmessumformer und stellen Sie sicher, dass die Hochdruck-Verriegelungen aktiviert sind.
5. Stellen Sie sicher, dass der Schmelzefluss durch den Kopf nicht blockiert ist.
6. Stellen Sie sicher, dass die lokale Absauganlage (LEV) über ausreichend Luftdurchsatz verfügt.
7. Halten Sie einen Abschrecktopf bereit, der teilweise mit sauberem Wasser gefüllt ist, um austretendes Extrudat aufzufangen.

Inbetriebnahmeverfahren

1. Stellen Sie alle Temperaturregler auf 177 °C ein und lassen Sie alle Heizelemente sich ausgleichen.
2. Stellen Sie sicher, dass alle Temperaturen normal ansteigen. Achten Sie auf Abweichungen, die auf durchgebrannte oder unkontrollierte Heizelemente hindeuten könnten. Ein Streifenschreiber ist hilfreich, um die Temperaturregler und deren Betriebszyklen zu überwachen.
3. Stellen Sie alle Temperaturregler auf 288 °C ein und lassen Sie die Temperaturen sich erneut angleichen.
4. Prüfen Sie, ob alle Temperaturen normal angestiegen sind.
5. Stellen Sie die einzelnen Temperaturen auf das gewünschte Temperaturprofil ein und lassen Sie sie sich angleichen. Hinweis: Dieses Profil ist bei laufenden Drehzahlen feinabgestimmt, um die gewünschte Schmelztemperatur zu erreichen. Verwenden Sie das Profil nicht als „Regelwert“. Bei einem gegebenen Profil variiert die Schmelztemperatur mit dem Durchsatz (U/min).
6. Lassen Sie nach Erreichen aller Sollwerte eine Haltezeit von mindestens 15 Minuten einhalten. Dadurch wird sichergestellt, dass das gesamte Polymer geschmolzen ist und ein übermäßiger Druckanstieg beim Anlaufen der Schnecke minimiert wird.
7. Halten Sie sich während des Schneckenstarts nicht vor dem Extruder auf. Schauen Sie niemals direkt in den Einfülltrichter, da Rückschlaggefahr besteht.
8. Starten Sie die Schnecke und stellen Sie die Drehzahl auf ca. 10 U/min ein. Spülen Sie ca. 10 Minuten lang. Achten Sie auf Druck- oder Stromspitzen und schalten Sie den Extruder bei deren Auftreten ab.
9. Erhöhen Sie die Drehzahl auf ca. 25 U/min und zentrieren Sie die Düse um die Spitze. Hinweis: Bei selbstzentrierenden Düsenköpfen ist dies nicht erforderlich.
10. Beginnen Sie mit der Produktion und passen Sie das Temperaturprofil so an, dass die gewünschte Schmelztemperatur bei der geplanten Produktionsrate erreicht wird.

Abschaltverfahren

Das Abschaltverfahren variiert je nachdem, ob die Maschine für einen neuen Produktionslauf umgerüstet oder nur kurzzeitig angehalten werden soll, bevor die Produktion fortgesetzt wird.

Ziel ist es, den Polymerabbau und damit die Kontamination der nächsten Produktion zu vermeiden, indem die Einwirkung hoher Temperaturen auf das Harz minimiert wird. Maschinen, die für die Langzeitproduktion mit demselben Harz eingesetzt werden, müssen jedoch regelmäßig demontiert und gereinigt werden.

Wird in einem nachfolgenden Produktionsgang dieselbe Harzsorte verwendet und die Temperatureinwirkung auf das Harz in der Anlage minimiert, ist eine Reinigung in der Regel nicht erforderlich. Ein Wechsel der Harzsorte erfordert hingegen die Demontage und gründliche Reinigung. Vermeiden Sie es, durch das Spülen einer Sorte mit einer anderen „Zeit zu sparen“. Demontage und Reinigung erfolgen am besten bei erhöhter Anlagentemperatur.

Abschaltung ohne Extruderreinigung

Führen Sie für eine ordnungsgemäße Abschaltung folgende Schritte aus:

1. Entleeren Sie den Einfülltrichter über den Auslauf und saugen Sie die restlichen Harzpellets ab.
2. Falls Draht beschichtet wird, schneiden Sie ihn ab und entfernen Sie ihn vom Querkopf. Falls ein Rohr hergestellt wird, trennen Sie den Schmelzeffluss von der Kalibrierdüse.
3. Senken Sie alle Temperatureinstellungen auf den Schmelzpunkt des zuletzt verarbeiteten Harzes.
4. Reduzieren Sie die Schneckendrehzahl auf einen mäßig niedrigen Wert (10 bis 20 U/min) und lassen Sie die Schmelze in einen Eimer mit Abschreckwasser oder einen anderen Behälter ablaufen, der die entstehenden Dämpfe auffängt oder absaugt.
5. Wenn der Zylinderdruck deutlich abfällt oder der Extruder leer ist, senken Sie die Temperatureinstellungen auf 177 °C und stoppen Sie die Schnecke.

Hinweis: Die Schritte 4 und 5 müssen abgeschlossen sein, bevor die Temperatur deutlich abfällt.

6. Falls eine Brecherplatte und Siebpakete verwendet werden, trennen Sie den Kopf und entnehmen Sie diese zur Reinigung.

Abschaltung mit Extruderreinigung

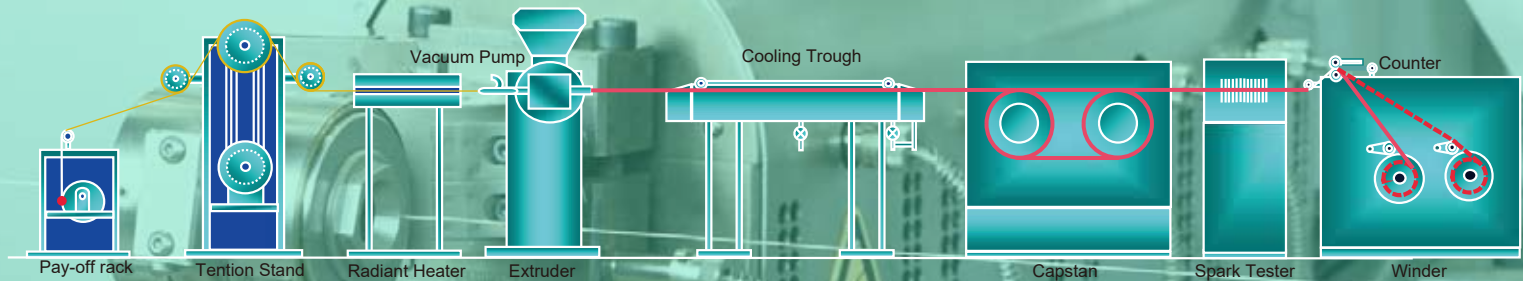
Führen Sie die folgenden Schritte für eine ordnungsgemäße Abschaltung durch:

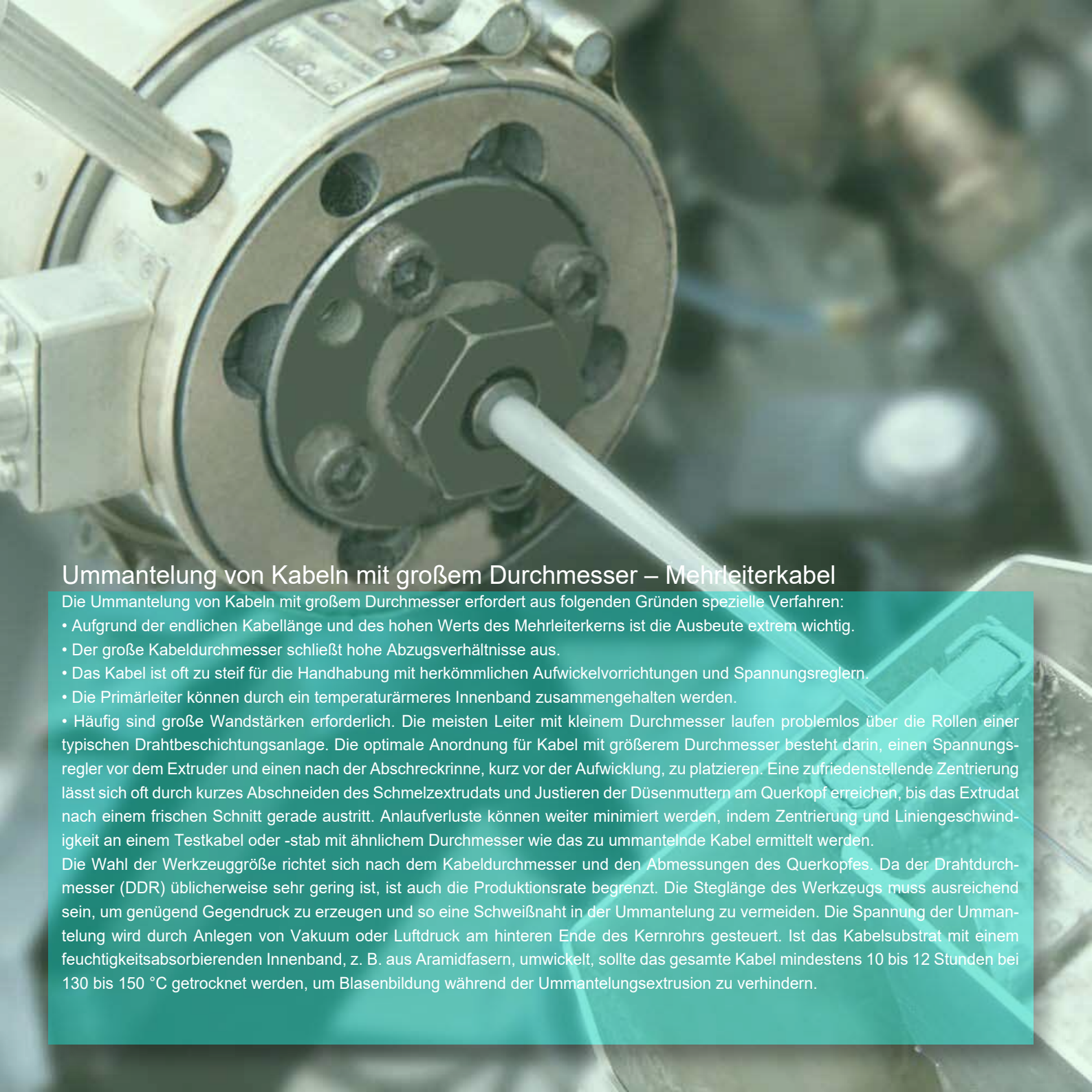
1. Entleeren Sie den Einfülltrichter wie oben beschrieben.
2. Falls Draht beschichtet wird, stoppen Sie den Draht und entfernen Sie ihn vom Querkopf. Falls ein Rohr hergestellt wird, trennen Sie die Schmelze von der Kalibrierdüse.
3. Reduzieren Sie alle Temperatureinstellungen: Stellen Sie für Everflon™ FEP und PFA die Temperatur auf ca. 288 °C ein. Stellen Sie für Everflon™ ETFE die Temperatur auf ca. 177 °C ein. Reduzieren Sie die Schneckendrehzahl auf einen mäßig niedrigen Wert (10 bis 20 U/min) und lassen Sie die Schmelze in einen Abschrecktopf ablaufen.
4. Sobald der Extruder leer erscheint, stoppen Sie die Schnecke.
5. Schalten Sie die Heizelemente des Extruderkopfes aus und trennen Sie sie vom Extruder.
6. Demontieren Sie den Extruderkopf und reinigen Sie ihn im heißen Zustand unter einer Abzugshaube. Entfernen Sie die Werkzeuge und das Kernrohr und reinigen Sie diese mit Kupfer- oder Messingspateln und -bürsten. Entfernen Sie alle Heizelemente und Thermoelemente. Kleinere Teile können in einem geeigneten Muffelofen ausgebrannt werden. Verwenden Sie zum Abbrennen von Harzresten keinen Propangasbrenner, da ungleichmäßige Erwärmung das Bauteil verformen kann.
7. Drücken Sie die Schraube unter ständigem Reinigen mit einer Drahtbürste und Kupferwolle vorsichtig heraus. Verwenden Sie niemals einen Propangasbrenner zum Abbrennen von Harzresten. Die Legierung kann dadurch an Härte verlieren oder sich verformen. Wiederholen Sie den Vorgang, bis die gesamte Schraube entfernt und gereinigt ist.
8. Reinigen Sie den Zylinder mit Kupferwolle und polieren Sie ihn anschließend mit einem um den Reibbürstenkopf gewickelten Baumwolltuch.
9. Schalten Sie die Heizungen aus und trennen Sie die Stromversorgung des Prozesses.

Wie bereits erwähnt, kann ein belüfteter Muffelofen bei 540 °C zum Reinigen kleiner Teile verwendet werden.

Drahtbeschichtung

Eine typische Drahtbeschichtungsanlage ist in Abbildung 13 dargestellt. Die Anlage muss den Draht mit gleichmäßiger Spannung und der gewünschten Produktionsrate ohne Abweichungen oder Drift transportieren können. Drahtabwickler, Spannungsregler, Vorwärmer und Aufwickler sind üblicherweise für verschiedene Drahtdurchmesser ausgelegt. Längere, kontinuierliche Drahtisolierungen werden durch „Fly“-Abwickler ermöglicht, die den Draht wie eine Angelschnur von einer Fliegenrutenrolle abwickeln. Viele moderne Anlagen verfügen über eine integrierte Drahtziehmaschine. Dies ist ein gutes Verfahren für die Isolierung sehr langer Drahtlängen gleichen Durchmessers. Große, steifere Kabelkonstruktionen erfordern in der Regel spezielle Anlagen für große Radien.





Ummantelung von Kabeln mit großem Durchmesser – Mehrleiterkabel

Die Ummantelung von Kabeln mit großem Durchmesser erfordert aus folgenden Gründen spezielle Verfahren:

- Aufgrund der endlichen Kabellänge und des hohen Werts des Mehrleiterkerns ist die Ausbeute extrem wichtig.
- Der große Kabeldurchmesser schließt hohe Abzugsverhältnisse aus.
- Das Kabel ist oft zu steif für die Handhabung mit herkömmlichen Aufwickelvorrichtungen und Spannungsreglern.
- Die Primärleiter können durch ein temperaturärmeres Innenband zusammengehalten werden.
- Häufig sind große Wandstärken erforderlich. Die meisten Leiter mit kleinem Durchmesser laufen problemlos über die Rollen einer typischen Drahtbeschichtungsanlage. Die optimale Anordnung für Kabel mit größerem Durchmesser besteht darin, einen Spannungsregler vor dem Extruder und einen nach der Abschreckrinne, kurz vor der Aufwicklung, zu platzieren. Eine zufriedenstellende Zentrierung lässt sich oft durch kurzes Abschneiden des Schmelzextrudats und Justieren der Düsenmutter am Querkopf erreichen, bis das Extrudat nach einem frischen Schnitt gerade austritt. Anlaufverluste können weiter minimiert werden, indem Zentrierung und Liniengeschwindigkeit an einem Testkabel oder -stab mit ähnlichem Durchmesser wie das zu ummantelnde Kabel ermittelt werden.

Die Wahl der Werkzeuggröße richtet sich nach dem Kabeldurchmesser und den Abmessungen des Querkopfes. Da der Drahtdurchmesser (DDR) üblicherweise sehr gering ist, ist auch die Produktionsrate begrenzt. Die Steglänge des Werkzeugs muss ausreichend sein, um genügend Gegendruck zu erzeugen und so eine Schweißnaht in der Ummantelung zu vermeiden. Die Spannung der Ummantelung wird durch Anlegen von Vakuum oder Luftdruck am hinteren Ende des Kernrohrs gesteuert. Ist das Kabelsubstrat mit einem feuchtigkeitsabsorbierenden Innenband, z. B. aus Aramidfasern, umwickelt, sollte das gesamte Kabel mindestens 10 bis 12 Stunden bei 130 bis 150 °C getrocknet werden, um Blasenbildung während der Ummantelungsextrusion zu verhindern.

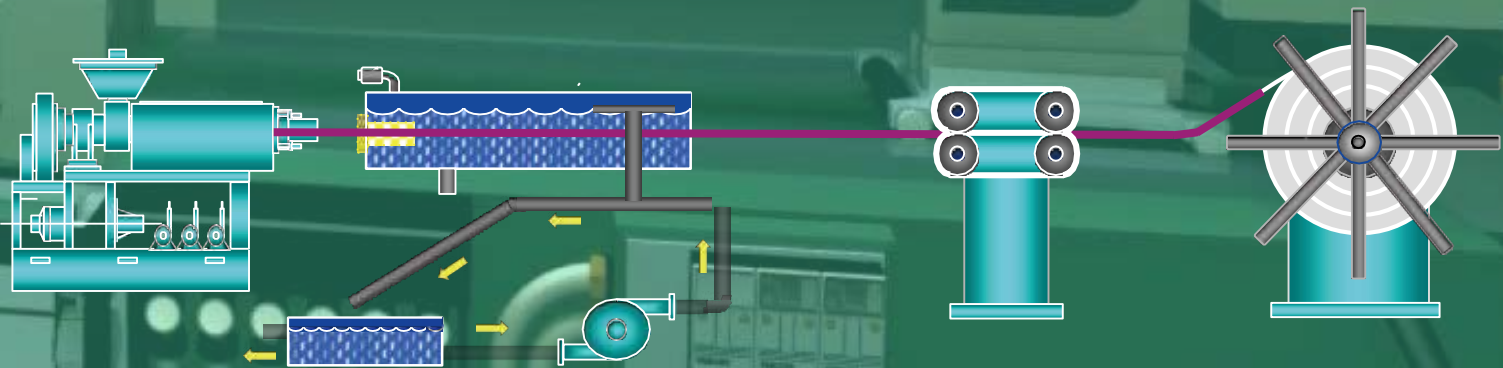
Rohr und Schlauch

Das Extrusionsverfahren für Schläuche ähnelt dem der Drahtisolierung. Die detaillierten Techniken unterscheiden sich jedoch und hängen von Größe und Art des herzustellenden Schlauchs ab. Es können Kreuzkopfdüsen verwendet werden, üblicherweise kommen jedoch Inline-Düsen zum Einsatz.

Schläuche und Leitungen lassen sich aus Everflon™-Fluorkunststoffen extrudieren. Diese Extrusionen werden in der Regel für den Transport korrosiver Chemikalien und in geringerem Umfang als Auskleidungen verwendet.

Die Schlauchextrusion ähnelt dem Drahtisolierungsverfahren. Die Verarbeitungsdetails hängen von Größe und Art des Schlauchs ab. Schläuche können sowohl mit Inline- als auch mit Kreuzkopfdüsen hergestellt werden. Everflon™-FEP-Schläuche sind mit Außendurchmessern von 1 mm bis über 20 mm erhältlich.

Dieser Bereich wird anhand des Außendurchmessers in drei Verarbeitungszonen unterteilt: klein, mittel und groß. Die Kalibrierdüse bestimmt den Außendurchmesser des Extrusionsprodukts, die Liniengeschwindigkeit den Innendurchmesser. Die Wandstärke wird durch die Aufwickelgeschwindigkeit, den Düsenpalt und die Differenz zwischen dem Innendurchmesser der Düse und dem Außendurchmesser der Spitze bestimmt.



Kleinschläuche (Spaghetti-Schläuche)

Kleinschläuche (< 5 mm Außendurchmesser und < 1 mm Wandstärke) werden üblicherweise im Freixtrusionsverfahren hergestellt. Dieses Verfahren ähnelt der Drahtbeschichtung, jedoch ohne Draht. Größe und Wandstärke hängen von den Werkzeugabmessungen und dem Verhältnis zwischen Extruderausstoß und Schlauchabzug ab. Die Werkzeugwahl kann ähnlich wie bei der Drahtbeschichtung sein, jedoch wird ein deutlich geringeres Abzugsverhältnis verwendet. Ein Abzugsverhältnis (DDR) im Bereich von 7:1 bis 10:1 ist üblich. Eine Kalibrierdüse am Eingang des Abschreckbades kann zur Kontrolle des Außendurchmessers eingesetzt werden. Es kann hilfreich sein, im Inneren des Tisches einen leichten Luftdruck zu erzeugen, um sicherzustellen, dass die Kalibrierdüse vollständig gefüllt ist.

Mittelgroße Schläuche

Schläuche mit einem Durchmesser von 10 mm oder mehr werden häufig im Vakuumkalibrierverfahren hergestellt.

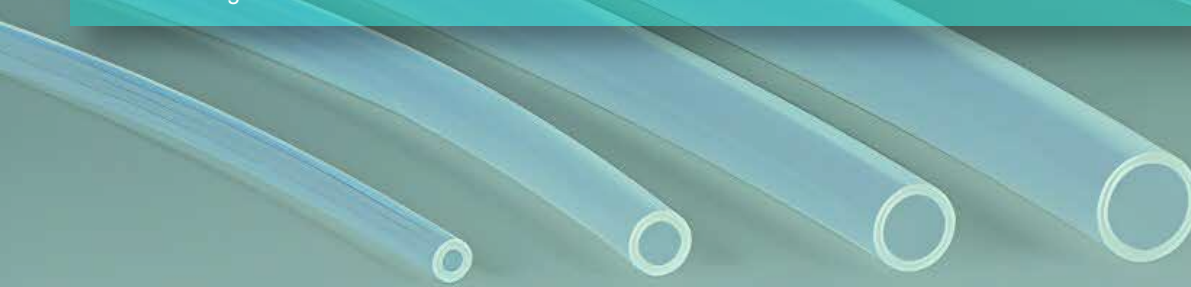
Bei diesem Verfahren ist kein zusätzlicher Druck im Schlauch erforderlich, um die Düse zu füllen, da dies durch das umgebende Vakuum geschieht. Der hergestellte Schlauch ist daher an einem Ende offen und kann ohne Unterbrechung des Prozesses auf jede beliebige Länge zugeschnitten werden. Es können Werkzeuggrößen verwendet werden, die denen für kleine Schläuche ähneln. Eine geringe Dehnrate (DDR), die zu einer reduzierten Ausrichtung im Konus führt, ist besonders wichtig, wenn der Schlauch in einem nachfolgenden Arbeitsgang kalibriert werden soll.

Eine hohe Schmelzausrichtung in Kombination mit Nachformung kann die Dehnungsgrenzen des Polymers erreichen und zu Ausfällen oder Brüchen führen.

Große dünnwandige Schläuche

Dünnwandige Schläuche mit einem Durchmesser von 12 bis 30 mm und einer Wandstärke von 0,3 bis 0,8 mm werden mitunter im verlängerten Dornverfahren hergestellt.

An der Führung oder Spitze ist eine konische Messingdornverlängerung angebracht. Die Führung wird üblicherweise elektrisch beheizt, um Schmelzbruch zu verhindern, und der Dorn wird entweder gekühlt oder durch Öl nur sehr leicht erwärmt, um die Fluorpolymerschmelze zu verfestigen und ein Anhaften zu verhindern.



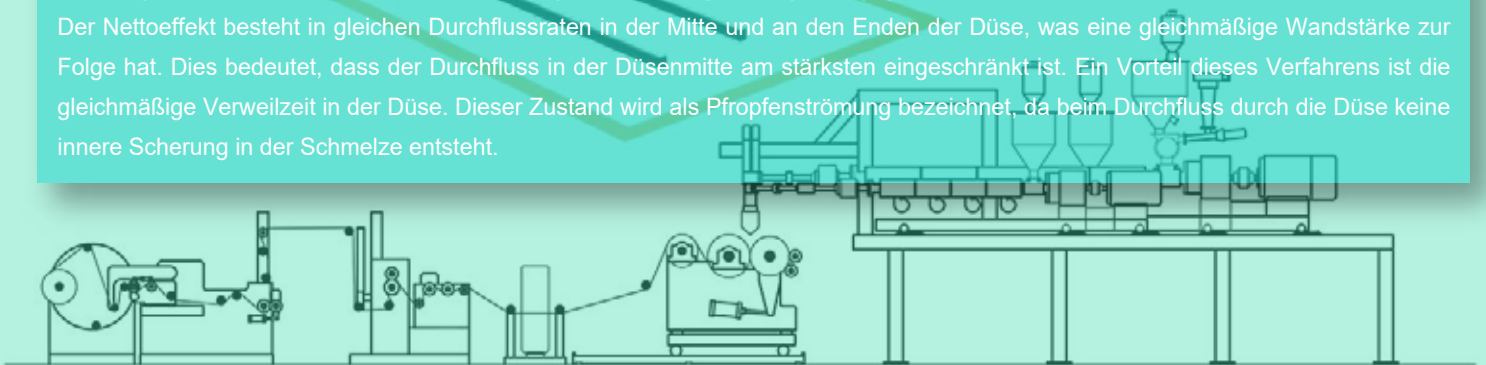
Film und Papier

Everflon™ Fluoropolymerfolien finden Anwendung in Bereichen mit extrem hohen und niedrigen Temperaturen sowie aggressiven Chemikalien. Beispielsweise dienen sie als Trennfolien beim Formpressen von Hochtemperaturteilen mit Epoxid- und Phenolharzen. Eine weitere gängige Anwendung ist die Verwendung als Auskleidung. So werden sie beispielsweise als Walzenabdeckung zum Schutz von Metallwalzen vor Korrosion in der chemischen Industrie, etwa in der Papierherstellung, eingesetzt. Weitere Anwendungsgebiete sind die Verglasung von Solarkollektoren, Probenbeutel für Gase und Flüssigkeiten sowie Verpackungen für Arzneimittel und Lebensmittel. Teilfluorierte Everflon™ Fluoropolymere bieten Folien mit besonders hoher Zugfestigkeit und einem hohen Elastizitätsmodul für Anwendungen, die hohe mechanische Festigkeit erfordern. Monoaxial und biaxial orientierte Everflon™ Fluoropolymerfolien werden durch Schmelzextrusion des Harzes zu flachen Bahnen oder Schläuchen hergestellt. Die Orientierung dient hauptsächlich der Verbesserung der mechanischen Eigenschaften der Folie, wie z. B. Reißfestigkeit und Weiterreißfestigkeit. Die Entscheidung für eine Orientierung richtet sich in der Regel nach den Anforderungen der jeweiligen Endanwendung an die mechanischen Eigenschaften.

Die gebräuchlichste Düse zum Extrudieren flacher Fluoropolymerfolien ist die Kleiderbügeldüse. Die Abbildung zeigt eine schematische Darstellung einer solchen Düse. Die Everflon™-Fluoropolymerschmelze tritt in der Nähe der seitlichen Mitte in die Düse ein und wird zu den beiden Düsenenden umgelenkt. Die Schmelze fließt durch die zum Düsenaustritt geneigten Kanäle und verteilt sich so über die gesamte Düsenbreite. Das geschmolzene Everflon™-Polymer fließt durch den Düsenpalt zum Austrittsschlitz, auch Düsenlippe genannt. Dieser Spalt wird von zwei flachen Metallplatten gebildet und wird, wie bei anderen Düsentypen, als Führungsfläche bezeichnet. Die beiden Platten bestehen üblicherweise aus mehreren Abschnitten, die unabhängig voneinander eingestellt werden können, um die Dicke der extrudierten Folie/Platte präziser zu steuern.

Die Düse ist so konstruiert, dass die Kanäle den Schmelzfluss so steuern, dass die gesamte Schmelze die gleiche Scherung erfährt. Die Fließwege werden durch die in den Kanälen vorgesehenen Begrenzungen angeglichen.

Der Nettoeffekt besteht in gleichen Durchflussraten in der Mitte und an den Enden der Düse, was eine gleichmäßige Wandstärke zur Folge hat. Dies bedeutet, dass der Durchfluss in der Düsenmitte am stärksten eingeschränkt ist. Ein Vorteil dieses Verfahrens ist die gleichmäßige Verweilzeit in der Düse. Dieser Zustand wird als Pfropfenströmung bezeichnet, da beim Durchfluss durch die Düse keine innere Scherung in der Schmelze entsteht.



FEHLERSUCHLEITFADEN

Verarbeitungsabweichungen

Mögliche Ursachen

Problem

	Schmelzbruch	Extrusionsrate	Zu langsam	Funke Fehler	Blasenbildung	Messabweichungen	Ungenauigkeiten bei der Zentrierung oder	Unrundheit	Nadellöcher, Risse
Verunreinigungen			●					●	●
Harz zu kalt	●	●						●	●
Düse zu kalt	●	●						●	●
Extrusionsrate zu hoch	●		●					●	●
Konuslänge zu kurz								●	●
Blasen in der Schmelze			●					●	●
Verschmutztes, nasses oder raues Substrat			●					●	●
Zu hoher Abzug			●					●	●
Kühlwasserspritzer			●						●
Führungsdüse nicht zentriert			●				●		
Mittleres Loch in der Führungsdüse zu groß							●		
Unzureichende Wasserabschreckung							●		
Unzureichende Schmelzspannung							●		
Ungleiches Abzugsverhältnis							●	●	●
Schwankende Harzzufuhr						●	●		
Fehlerhafte Schneckenkonstruktion		●				●			
Drahtgeschwindigkeitsschwankungen						●			
Vakuumschwankungen						●			
Konuslänge zu lang						●			
Schwankungen im Drahtdurchmesser						●			
Temperatur im hinteren Zylinder zu niedrig		●							
Abzug zu gering	●	●							
Luftspalt zu lang					●				
Entgasung des Substrats				●	●				
Harzverweilzeit zu lang					●				
Harztemperatur zu hoch					●				
Fehlerhafte Düsen- oder Düsenkonstruktion									●
Nasses Harz oder Pigment				●	●			●	●

FEHLERSUCHLEITFADEN

Aussehen des Extrudats

		Verfärbung	Oberflächenrauheit	Schlecht Farbpigmentierte Konstruktionen	Isolierrisse	Blasenbildung	Verunreinigung
Mögliche Ursachen		Problem					
Aussehen des Extrudats	Korrosionsprodukte						
	Lokale Harzrückstände						
	Harztemperatur zu hoch						
	Extrudertrichter nicht sauber						
	Unsachgemäße Handhabung oder Lagerung						
	Haltezeit zu lang						
	Übermäßige Spannung						
	Gebrochene Litzen oder scharfe Substratkanten						
	Lufteinschlüsse						
	Übermäßige Drahtvorwärmung						
	Nasses Harz						
	Verschmutztes Substrat						
	Schrumpungsblasen durch unsachgemäßes Abschrecken						
	Düse zu kalt						
	Düse zu restriktiv						
	Harztemperatur zu niedrig						
	Verunreinigung						
	Schlechte Düsenoberfläche						
	Falsche Positionierung der Führungsdüse						
	Unsachgemäße Schmelzeabfuhr						
	Absorbierte Feuchtigkeit am Harz						
	Rauheit im Basisdraht oder Kabel						
	Schweißnähte (falsche Düse und Düse)						
	Falsches Verdünnungsverhältnis des Farbkonzentrats						
	Schlechte Pigmentdispersion						
	Zu hohe Extrusionsrate						
	Falsches Farbkonzentrat						

FEHLERSUCHLEITFADEN

Extrudateigenschaften

270–300
270–320
270–320
345
190
300–330
Moderately Fast
21–100

- Unzureichende Drahterwärmung
- Blasen oder Hohlräume
- Schlechte Rundlaufgenauigkeit
- Verunreinigungen
- Konuslänge zu kurz
- Konuslänge zu lang
- Luftspalt zu kurz für die Bandgeschwindigkeit
- Luftspalt zu lang für die Bandgeschwindigkeit
- Übermäßige Degradation
- Beschichtung zu dünn oder ungleichmäßig

		Schlechte Wärmebeständigkeit	Geringe Durchbruchleistung	Hohe Abstreifkraft	Niedrige Abstreifkraft	Geringe Durchschlagsfestigkeit	Geringe Zugfestigkeit oder Dehnung
Mögliche Ursachen		Problem					
	Unzureichende Drahterwärmung						●
	Blasen oder Hohlräume	●				●	●
	Schlechte Rundlaufgenauigkeit	●	●				
	Verunreinigungen					●	●
	Konuslänge zu kurz			●			
	Konuslänge zu lang				●		
	Luftspalt zu kurz für die Bandgeschwindigkeit				●		
	Luftspalt zu lang für die Bandgeschwindigkeit			●			
	Übermäßige Degradation	●					●
	Beschichtung zu dünn oder ungleichmäßig	●	●			●	●



Everflon Academic Center

Tel: +86-185-7168-9228

info@everflon.com

www.everflon.com

Weitere Informationen zu unserem Unternehmen, unseren Produkten und unserem Service finden Sie auf unserer Website unter www.everflon.com oder www.everflonultra.com