



EVERFLON<sup>ACADEMIC</sup>



— 加工手冊 —

**PTFE**

聚四氟乙烯分散樹脂

---

F100	F500
F1000	F2000

# 簡介

Everflon™ PTFE 細粉是一種乳白色聚合物，由乳液聚合形成的分散體分離而成。其分子結構僅由碳原子和氟原子組成，分子式為  $(CF_2-CF_2)_n$ 。

Everflon™ PTFE 細粉具有所有塑膠中最低的摩擦係數，以及最優異的耐熱性、耐化學性、電氣性和不黏性。

Everflon™ PTFE 細粉易於吸收有機溶劑，形成糊狀物，易於擠出成型。它廣泛用於製造絕緣電線、軟管、細棒和未燒結帶。

## 市售 Everflon™ PTFE 細粉

性能	PTFE F100	PTFE F500	PTFE F1000	PTFE F2000
粒徑 (μm)	500	500	500	500
表觀密度 (g/ml)	0.45	0.45	0.45	0.45
熔點	328	328	328	328
比重	2.2	2.2	2.2	2.2
抗拉強度 (MPa)	25	25	25	25
伸長率 (%)	350	50	350	350
縮減率	100	600	1500	2000
	未燒結膠帶；密封膠帶	小直徑和大直徑管材； 熱縮管； 大於 AWG 16 的粗電線以及帶護套的電線管；	纏繞膠帶 用於纏繞扁平電纜的膠帶 管狀膠帶 低比重膠帶 細於 AWG16 的電線	小直徑管子 義大利麵管 低比重膠帶 細於 AWG12 的電線

## 絕緣電線

由於 Everflon™ PTFE 具有優異的電氣性能，因此是理想的電線絕緣材料。它還兼具卓越的耐熱性和耐化學腐蝕性。典型應用包括：

- 飛機、火箭和飛彈的電線；
- 電路變壓器和電動機的電線；各種類型的電子工業電線；
- 高溫環境下的電線，例如發電站、電爐或真空管附近的電線；以及化學工業中受強化學品腐蝕的電線。

## 管道管材

Everflon™ PTFE 優異的耐熱性和耐化學腐蝕性以及不黏特性使其應用於以下領域：

- 噴射發動機燃料和火箭燃料管；
- 化工廠或核電廠中高溫或腐蝕性流體的管路；
- 食品或化學品流體的管路；
- 蒸氣軟管；黏性物質輸送管路；
- 液壓控制設備的軟管；以及電子設備的絕緣材料。

## 細棒

Everflon™ PTFE 優異的電氣性能以及耐熱耐化學腐蝕性能使其廣泛應用於泵浦和閥門零件、端子、套管和外絕緣體的製造。

## 未燒結膠帶

- 用於密封

未燒結膠帶是螺紋連接的理想密封材料。纏繞在螺紋上，可形成緊密封，並具有優異的耐化學腐蝕性和耐熱性。其自潤滑特性使其易於拆卸，並能完全防止管道內壁受到污染。
- 用於絕緣

將未燒結膠帶纏繞在導線或線圈上，並在 330℃ 的溫度下加熱，膠帶會沿著壓延方向收縮約 33%，從而能夠完全覆蓋工件。膠帶層熔合在一起，形成完全密封、無縫隙的絕緣層。未燒結膠帶也可用於拼接或修復由 Everflon™ PTFE 細粉製成的擠出絕緣導線。
- 薄膜

當未燒結的帶材在張力作用下燒結時，會形成一層薄膜，該薄膜可用作絕緣材料。

# Everflon™ PTFE 細粉的特性

## 熱性能

Everflon™ PTFE 可在高達 260° C 的溫度下連續使用，並可在更高溫度下短暫使用。它還具有優異的低溫強度。憑藉這些卓越的熱性能，採用 Everflon™ PTFE 細粉製成的產品，例如電氣或電子機械部件、管道內襯、絕緣電線等，得到了廣泛應用。

## 化學性質

Everflon™ PTFE 具有優異的耐化學腐蝕性能，幾乎完全耐受所有常用化學物質。與某些特殊化學物質在極端嚴苛條件下（例如熔融鹼金屬、高溫高壓氟氣或三氯氟氣）一起使用時，可能會發生輕微變化。在高溫下與普通酸、鹼和氧化劑接觸時，Everflon™ PTFE 保持完全穩定。即使與有機化合物接觸也不會導致溶解或膨脹。Everflon™ PTFE 之所以在化學工業中被廣泛用於管道內襯、編織軟管、墊片、管材和波紋管等，其根本原因在於其優異的化學惰性。

## 電氣性能

由於 Everflon™ PTFE 的分子結構為非極性，因此它非常適合用作高頻絕緣材料。這不僅是因為它適用溫度範圍廣，還因為它在寬頻率範圍內具有低且均勻的介電常數和損耗因子。

Everflon™ PTFE 細粉用於製造飛機、電線、小型同軸電纜、工業控制電纜、軟管和纏繞膠帶等的絕緣塗層。

## 低磨損、不黏性

在正常使用條件下，Everflon™ PTFE 具有所有固體中最低的摩擦係數。此外，其卓越的不黏性可防止大多數黏合劑黏附在其上。因此，由 Everflon™ PTFE 細粉製成的管材可用作液體黏合劑的輸送管、索道管道等，適用於汽車和其他機械行業以及其他類似應用。此外，由 Everflon™ PTFE 細粉製成的未燒結膠帶非常柔軟

# 製造指南

## 糊狀擠出

與一般模塑粉末相比，Everflon™ PTFE 細粉的分子量較小（3,000,000~5,000,000），且顆粒極為細小。因此，Everflon™ PTFE 細粉與有機溶劑的親和力極佳，添加普通石油溶劑作為擠出助劑後，即可製成有機溶膠。Everflon™ PTFE 細粉的常規模塑製程如下所示。

壓延成型

壓延

去除擠出助劑

溶劑萃取

製成品

未燒結膠帶

原料

篩選

擠出助劑混合

混合

預成型

擠壓

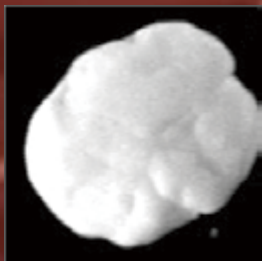
去除擠出助劑

乾燥

燒結

製成品

絕緣電線  
細管  
細棒

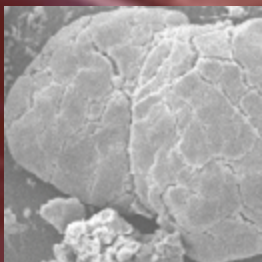


-200um-

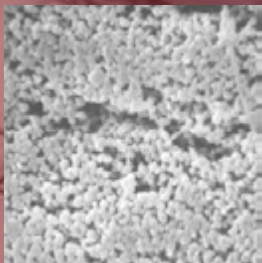
Everflon™ PTFE 細粉由直徑約 500  $\mu\text{m}$ 、比重 500 g/L 的「馬鈴薯狀」二次顆粒組成。其空間填充率為 25 vol%，PTFE 細粉的空氣填充孔隙率為 750 ml。

二次顆粒由約 10<sup>3</sup> 個初級顆粒組成，這些初級顆粒以球形團聚體的形式進行統計堆積。堆積密度為 55 vol%。無論球體直徑如何，相同尺寸的球體進行統計球形堆積，最大填充率可達 62 vol%。球形初級顆粒的粒徑分佈極為均勻。它們所含的 PTFE 呈高度結晶狀態。

二次顆粒的「馬鈴薯狀」形態確保了其良好的流動性。二次顆粒的顆粒狀、島狀結構清晰可見，反映了其統計堆積的球形團聚體。這些顆粒是由 10<sup>10</sup> 個初級顆粒組成的「葡萄狀聚集體」。



-100um-



-1um-

# 糊狀物擠出現象學

## 糊狀物混合

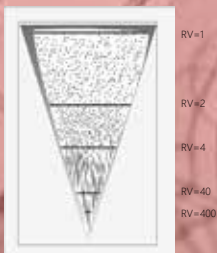
透過添加潤滑劑，可以填充二次顆粒的孔隙空間。常用的潤滑劑是有機聚四氟乙烯（PTFE）潤濕液，主要是高沸點烴類（苯類）。實際應用中，將20份苯與100份PTFE混合。添加潤滑劑後，二次顆粒內部的空氣被置換出來。二次顆粒的馬鈴薯狀形狀不會因此而改變。添加潤滑劑後的糊狀物仍保持其自由流動性，比重增加至約700 g/L。二次顆粒間的空氣填充孔隙空間約為500 ml/L。

## 預成型件製造

透過在壓力約 30 至 50 巴的氣缸中壓縮二次顆粒，去除二次顆粒之間的空氣，從而使含潤滑劑材料的密度增加到 1650 克/公升。二次顆粒和一次顆粒的形狀得以保持。由此得到的圓柱形棒材稱為預成型件或坯料。根據測得的密度，填充率約為 63 vol%。從流變學的角度來看，細粉在坯料中呈現糊狀。流變學上，這種糊狀物可以定義為由固定流體和可塑性變形固體組成的非均相二元體系。當施加超過某一最小力時，此體系會發生流動並發生不可逆變形。由此，固定流體成為潤滑劑（基體），而變形的一次顆粒則成為填充物。

## 漏斗流設計中的糊狀物擠出

坯料被送入圓柱形金屬料斗，然後在一定壓力（即所謂的糊狀物擠壓壓力）下通過同樣由金屬製成的漏斗。漏斗橫斷面的收縮程度以收縮比（RR）來表徵，收縮比為漏斗入口面積與出口面積之比。漏斗出口連接著一段很短的管道，即所謂的導向管，用於「引導流動的糊狀物」。在料斗中，坯料呈現活塞流特性，因為它不會黏附在金屬壁上。從流變學的角度來看，真正的流動過程僅從漏斗入口開始，如圖所示，以流線的形式呈現。流速與收縮比（RR）的減少成正比。流線的密集排列會在流動方向上產生剪切梯度。這迫使糊狀物發生不可逆的塑性變形。擠壓後的材料透過這種變形獲得機械穩定性，即所謂的“生坯穩定性”，無論是在含潤滑劑的濕態還是乾燥狀態下。濕擠出材料的密度約為 1.8 g/cm<sup>3</sup>，而乾燥擠出物的密度為 1.6 g/cm<sup>3</sup>，空間填充率為 70 vol%。這意味著相同尺寸球體的理論最大堆積密度已接近達到。



## 二次粒子的裂解

二次顆粒的破碎，也稱為糊狀纖維化。圖中顯示了漏斗錐的縱截面。在製備糊狀物之前，將細粉與含有染色二次顆粒的潤滑劑混合。所用染料不溶於苯。由此可見，隨著縮減率 RR 的增加，染色二次顆粒變形為「縱向圓柱體」的程度也隨之增加。

圓柱體的橫截面積隨著縮減率 (RR) 的增加而減少。橫截面積的減少與 RR 成反比。這是由於較大的初級顆粒團簇在流動方向上被輸送到纖維化二次顆粒的頭部，並重新聚集成包狀結構所致。團簇的輸送不可避免地伴隨著初級顆粒位置的改變。這導致初級顆粒呈現串珠狀排列。二次顆粒破碎。

理想情況下，初級顆粒的串珠狀排列應均勻，且尺寸小於  $10\ \mu\text{m}$ ，應避免出現較大的、排列不規則的「葡萄狀」團簇。這種團聚體導致燒結成品的表面不規則、不光滑（橘皮狀）。

## 初級粒子的可逆形變

糊狀物擠出過程中，擠出物會增加，即擠出物的直徑大於導引器。這可以證明初級顆粒發生了彈性形變，因為只有初級顆粒才能儲存彈性能。流動方向上的剪切梯度會將球形初級顆粒變形為橢球形。初級顆粒被捏合在一起。離開導向器後，彈性張力釋放，初級顆粒恢復到原來的球形。這意味著形變是可逆的。最終形成的是更緊密的結構。

# Everflon™ PTFE

## 細粉加工的基本原理

### 包裝和儲存

Everflon™ PTFE 細粉採用電子控制製程（製程控制系統）生產，並在無塵室（100 級無塵室）條件下填充。產品包裝於 20 公斤裝的密封塑膠桶中。

PTFE 生產設施以及帶蓋密封的優質塑膠桶，無需使用乾燥袋，從而避免了乾燥袋破損造成的污染。產品填充和儲存溫度均低於 19° C。在一年中較熱的月份，產品通常使用冷藏車運輸，以避免因運輸和/或高溫導致結塊，並保持細粉良好的流動性。

為了保持粉末的這些特性，建議客戶將產品儲存在冷藏室中；盡可能將溫度控制在 19° C 以下，因為 19° C 是晶體轉變的溫度。

建議室溫為 15° C。儘管採取了上述預防措施，如果發現細粉仍然結塊或含有團聚體，則可將團聚體篩除（注意：不要對顆粒施加壓力，以免污染粉末）。分離出的團聚體應在 5 至 10 ° C 的溫度下冷藏 2 至 3 天，然後搖晃以使其分散。

之後，應在低於 19 ° C 的溫度下進行篩分，使團聚體分散成流動性良好的粉末。細粉需要 24 小時以上才能進行後續加工，冷卻至 5 ° C 大約需要 3 天時間。更實際的方案

## 擠出混合物的製備

為避免成品出現缺陷，在加工細粉時必須格外小心，避免粉末受到任何過大的機械應力，因為這種粉末對剪切力非常敏感。建議輕輕搖晃粉末或用湯匙舀取，以免壓碎顆粒。

## 粉末篩選

在將細粉倒入混合容器之前，應先進行篩分，以打散結塊並使其鬆散。篩網孔徑應為 3 至 4 毫米。也可以使用旋篩，它可以打散較硬的結塊。較大的未散開的團塊應從篩網上移除，並收集在單獨的容器中。分離出的結塊顆粒可以透過冷卻和再次篩選進行再加工。在開放式篩分過程中，保持極高的清潔度至關重要。必須將滾筒保持在環境溫度下，並在取出粉末後立即重新密封，以避免因空氣冷凝而吸收水分。聚四氟乙烯（PTFE）是一種良好的電絕緣體，因此在添加 PTFE 時，必須避免過高的傾倒速度，否則材料可能會帶靜電，並與潤滑劑混合後爆炸。

## 與潤滑劑混合

不同沸程的脂肪烴已被證明可用作糊狀擠出的潤滑劑。

潤滑劑的選擇取決於擠出材料的類型。沸程較高的潤滑劑通常用於需要壓延製程的薄壁應用，例如薄膜。沸程較低的潤滑劑則用於厚壁擠出材料，例如襯板。

所選潤滑劑應能被細粉充分吸收，並在擠出後同樣容易去除。此外，它不應在燒結過程中引起變色。根據應用和潤滑劑類型的不同，潤滑劑的用量為100份Everflon™ PTFE細粉的17至25份（重量比）。為簡單起見，潤滑劑的用量以重量份表示。然而，更準確的說法是，應將最佳體積的潤滑劑添加到PTFE細粉中，以填充初級顆粒之間的空隙。潤滑劑的密度（可能相差約 10% 至 15%）在此扮演重要角色。潤滑劑應添加到混合容器中心的粉末中，而不是邊緣。

混合過程應在低於 19° C 的溫度下進行，因為細粉在此溫度下流動性較好。根據混合機的類型（滾筒式或旋轉式混合機），混合時間為 20 至 30 分鐘，轉速設定為每分鐘 20 至 30 轉。粉末混合物應在混合容器內流動，而不是飛濺。潤滑劑應被粉末均勻吸收。混合容器必須密封，以避免蒸發損失。為了獲得良好的混合效果，混合容器的填充量應不超過其容積的 2/3。

由於潤滑劑蒸氣有點燃風險（例如，靜電荷引起的點燃），因此在將細粉與易燃潤滑劑混合時，接地非常重要。必須藉助適當的室內空氣監測設備監測工作室內的苯濃度。同時，應確保良好的通風。

## 著色

以下步驟推薦用於粉末漿料的著色：使用液體色漿時，先加入潤滑劑中，再與粉末漿料混合。如果顏料要以乾態與粉末漿料混合（例如用於抗靜電應用、炭黑染色），則將顏料直接篩到粉末上，然後透過軋製使混合物在乾態下均勻化。

## 擠出混合物的成熟

透過讓混合物“熟化”，可以使潤滑劑在聚四氟乙烯（PTFE）中均勻分佈。這個熟化過程最好在密封容器中放置過夜或24小時以上。無需更長時間。

## 預成型壓縮

在此加工步驟中，將 Everflon™ PTFE 細粉和潤滑劑的混合物送入預成型機，壓製成圓柱形預成型件。

壓縮的目的是去除粉末糊狀物和潤滑劑混合物中的空氣，並使混合物成型，以便順利送入擠出機。預成型機的滾筒長度應為預成型件長度的三倍，因為粉末會被壓縮至其體積的三分之一。

應緩慢壓縮粉末和潤滑劑的混合物，以便使預成型機滾筒內的混合物中的空氣完全排出。此過程可透過在通風孔處施加真空來輔助。預壓過程在約 30-50 巴的壓力下持續數分鐘。成品的品質取決於預成型件是否無裂痕。因此，壓縮壓力必須緩慢降低，並且在從預成型機滾筒中取出預成型件時必須格外小心。壓實後的零件必須立即進行後續處理，以最大程度地減少潤滑劑從表面的蒸發。

潤滑劑分佈不均勻會導致成品的品質和尺寸出現偏差。將預成型件送入糊狀擠出機－擠出機的圓筒直徑應比預成型件的外徑大1毫米。

# 故障排除指南

問題	可能的原因	建議的補救措施
半成品受到污染	添加受污染的潤滑劑	<ul style="list-style-type: none"><li>過濾潤滑劑</li><li>更換潤滑劑批次</li></ul>
	粉末桶開啟過程中	<ul style="list-style-type: none"><li>打開前，清除滾筒外部的灰塵顆粒，避免污染</li><li>將滾筒接地，避免靜電荷產生</li><li>清潔準備室</li></ul>
	擠出前含有填料	<ul style="list-style-type: none"><li>清潔擠出機</li></ul>
半成品呈棕色	潤滑劑未完全去除	<ul style="list-style-type: none"><li>延長乾燥時間</li><li>提高乾燥溫度</li><li>使用沸點較低的潤滑劑</li><li>改善烘箱內的吸力</li><li>重複燒結，大多數情況下棕色會消失</li></ul>
擠出物易碎	擠出壓力過低，生坯強度過低	<ul style="list-style-type: none"><li>提高壓下率</li><li>減少潤滑劑用量</li><li>使用擠出壓力更高的材料</li><li>提高擠出速度</li></ul>
半成品沿擠出方向撕裂	生坯狀態下存在機械性損傷	<ul style="list-style-type: none"><li>更仔細地處理擠出物</li><li>使用沸點較高的潤滑劑</li><li>檢查模頭是否有機械性損傷</li></ul>
燒結半成品抗撕裂強度低，但強度和斷裂伸長率高	半成品燒結時間過長或溫度過高	<ul style="list-style-type: none"><li>檢查燒結爐的溫度曲線</li><li>選擇較低的燒結溫度（360 至 380 ° C）</li><li>檢查烘箱是否有故障</li></ul>
襯墊沿擠出方向縱向和橫向撕裂	內部支撐管尺寸過大	<ul style="list-style-type: none"><li>使用較小的內支撐管</li></ul>
	燒結後冷卻不均勻	<ul style="list-style-type: none"><li>確保冷空氣分佈均勻</li><li>檢查烘箱或冷卻裝置是否有故障</li></ul>
	冷卻速度過快導致內部張力過大或收縮不均勻	<ul style="list-style-type: none"><li>減慢冷卻速度</li><li>檢查烘箱或冷卻裝置是否有故障</li></ul>
	燒結過程中半成品黏附於接觸面	<ul style="list-style-type: none"><li>檢查接觸面是否有粗糙或缺陷</li></ul>

## 問題

## 可能的原因

## 建議的補救措施

半成品爆裂

乾燥溫度過高

- 將乾燥溫度降低至潤滑劑沸點和燒結溫度之間的範圍
- 檢查烘箱故障

水分

- 乾燥潤滑劑
- 打開粉末桶時出現水汽凝結，將桶子冷卻至室溫

預成型過程中殘留空氣

- 檢查機器參數（壓力、時間、關機速度）
- 鑽通風孔

管徑部分變細或擠出物呈波浪狀  
（“蛇紋”）

潤滑劑過多

- 減少潤滑劑
- 降低潤滑劑含量

半成品中出現白點

先前擠出過程中殘留的污染物或聚四氟乙烯（PTFE）

- 清潔擠出機

擠壓粉末糊狀物

- 更仔細地處理粉末
- 檢查潤滑劑液位
- 篩除結塊

部分出現條紋

潤滑劑過量

- 降低潤滑劑液位

擠壓粉末糊狀物

- 更仔細地處理粉末
- 篩除結塊

潤滑劑分佈不均勻

- 延長混合時間
- 將潤滑劑-粉末混合物在 30° C 下靜置過夜

半成品表面呈鱗片狀（橘皮狀）

擠出模具剪切力過低

- 提高壓下率
- 提高擠出速度

模具表面粗糙

- 拋光
- 如果進行橫向拋光，則進行縱向拋光

潤滑劑不足

- 增加潤滑劑液位

表面不規則

潤滑劑不足

- 增加潤滑劑液位

潤滑劑分佈不均勻

- 將潤滑劑/粉末混合物在 30° C 下靜置過夜

乾燥和燒結條件不一致

- 檢查烘箱故障

乾混細粉化合物中填料團聚

- 減小填料粒徑
- 增大半成品尺寸
- 研磨、破碎或篩分填料q
- 填料或填料添加劑耐溫性不足



## 恆氟隆 學術中心

Tel: +86-185-7168-9228

info@everflon.com

www.everflon.com

如需了解更多關於我們公司、產品和服務的信息，請訪問我們的網站 [www.everflon.com](http://www.everflon.com) 或 [www.everflon-formosa.com](http://www.everflon-formosa.com)