



白皮書

formlabs 

# SLS

## 3D列印物件浸染： 優點與工作流程

選擇性雷射燒結（SLS）3D 列印物件被廣泛應用於各行各業，從原型製作到量產皆有涉獵。為了進一步提升這些物件的美觀性與機械性能，SLS 3D 列印的用戶通常會採用後處理技術，例如染色、塗層、電鍍或噴漆。

將 Fuse 1+ 30W SLS 3D 列印機 使用 Formlabs Nylon 12 White Powder（尼龍 12 白色粉末）列印物件進行染色，可以實現更多可能性，讓客戶能夠打造引人注目的原型，並製作出具有多樣化顏色的生產就緒部件。

在這篇白皮書中，我們將概述 SLS 3D 列印部件的染色流程，並探討這項工藝所帶來的眾多優勢。

# 目錄

<b>目錄表</b>	2
<b>簡介</b>	3
<b>浸染設備</b>	3
浸染工作站	3
防腐設備	4
浸染溶液	5
<b>浸染工作流程</b>	5
零件準備	5
浸染	6
溫度和時間	6
添加劑	7
更換浸染劑顏色	7
浸染劑老化	8
浸染後處理	8
清洗	8
烘乾	8
拋光	8
<b>顏色與材料搭配</b>	9
白色物件浸染	9
灰色物件浸染	9
黑色物件浸染	10
<b>浸染的優勢</b>	10
成本	10
人力	10
物件幾何形狀	10
<b>染色限制</b>	10
幾何限制	10
顏色限制	10
工作空間限制	11
耐光性與耐洗性	11
<b>結論</b>	12

## 簡介

使用 Formlabs Fuse 1+ 30W 列印的 SLS 物件，可以透過染色提升其適用性。染色是一種經濟實惠的方法，可為 SLS 列印的物件和組件增添色彩，而不影響其機械性能。

使用 Nylon 12 White Powder，Fuse 1+ 30W 的使用者可以穩定實現多種顏色，從橙色到粉紅色、藍色，以及幾乎所有中間色調。無論是為了產品差異化、滿足特定美觀標準，還是為了安全相關的可視性需求，染色都是一種可行的解決方案。

在這份白皮書中，Formlabs 將分享進行的相關測試、結果以及硬體和染料混合的建議，幫助您每次都能獲得最佳效果。

## 浸染設備

我們對浸染設備進行了測試，以組合出最佳的尼龍 12 白色粉末染色配置。以下是我們在測試中獲得最佳效果的硬體、染料混合物與染劑參數的概要

### 浸染工作站

選擇染色系統時，需要考慮以下因素：物件的尺寸、數量、價格以及所需的色彩一致性等。染色系統的價格範圍從數百美元到數萬美元不等，通常價格越高，所能達到的色彩品質與一致性也越高。目前最常見的四種 3D 列印物件染色方法各有其獨特優勢，因此在選擇染色方法之前，設定對色彩品質和預算的期望值至關重要。

方法	SIZE	QUANTITY	COLOR	UV STABLE	COST
鍋染法	★ ★ ☆ ☆ ☆	★ ★ ☆ ☆ ☆	★ ★ ☆ ☆ ☆	No	Under \$50
超聲波浸染	★ ★ ★ ☆ ☆	★ ★ ★ ☆ ☆	★ ★ ★ ☆ ☆	No	\$100 to \$1000
壓力浸染	★ ★ ☆ ☆ ☆	★ ★ ☆ ☆ ☆	★ ★ ★ ★ ☆	No	\$100 to \$500
Dyemansion DM60	★ ★ ★ ★ ★	★ ★ ★ ★ ★	★ ★ ★ ★ ★	Yes	\$50,000+

我們推薦用於染色的設備是 Winco 的ESVC-28 - Spectrum Thermal Circulator。

這台機器價格實惠，來自多個供應商，且安裝與使用都很簡單。



Winco ESVC-28 Spectrum Thermal Circulator是超聲波染色的理想解決方案。

任何能夠達到80°C到90°C所需溫度並能夠循環溶液的系統都應該適合用於染色。

我們還建議附近準備不銹鋼夾子，協助從染劑中取出零件。

市面上也有針對 SLS 零件染色的工業解決方案，例如Dyemansion DM60，這對於大量零件以及需要極高一致性結果的情況來說，是一個具成本效益的選擇。該產品每批染色可容納最多60升零件，並會自動注入染料並在染色後沖洗零件。

與鍋染相比，DM60提供了更高的一致性，並改善了染料的紫外線穩定性。Dyemansion還提供定制顏色開發服務。對於有嚴格顏色要求或需要染色大量零件（如最終使用零件、生產批量超過1000個單位）的用戶，使用像DM60這樣的工業機器可能是個不錯的選擇。

這些大型解決方案減少了染色過程中的人工勞動，並包括針對不同類型零件和顏色的預設程序。然而，由於較高的前期成本，對於列印大量零件的使用者來說，投資回報將會更快。

## 防腐設備

循環加熱的染劑可能會腐蝕染缸的鋼壁。這篇白皮書中提到的一些染料，在反覆加熱過程中會逐漸腐蝕鋼材。這與家庭中使用的熱水器所見的腐蝕非常相似。解決潛在腐蝕問題的最簡單方法是將鎂陽極添加到水浴中，並確保其與鋼壁有電接觸，例如通過導電夾或緊密連接。Formlabs的內部測試顯示，加入鎂陽極可以將染缸的使用壽命延長至沒有鎂陽極的染缸的8倍以上。鎂陽極可以通過許多方便的渠道獲得，包括 Amazon 和當地的五金店。Formlabs 在測試過程中使用了這款鎂陽極。

延長染缸壽命的其他選項包括使用較溫和的染料溶液，如 Jacquard 酸性染料，或將染缸操作在較低的溫度下。

## 浸染溶液

對於染料，我們推薦 RIT ProLine 染料，適用於希望快速、簡單獲得染色效果的用戶。雖然這不允許進行顏色匹配或染色超出 RIT 目前提供的選項，但它提供了一個簡化的解決方案。通過改變染缸中的時間和溫度，可以達到 RIT 提供的不同顏色陰影。關於溫度和時間影響的更多訊息，請參見本白皮書中的染色工作流程部分。RIT ProLine 可以通過 Amazon 或 RIT 的網站購買。

在測試過程中，Jacquard 酸性染料也被測試，並發現它是一個有效的解決方案。與 RIT 相比，Jacquard 酸性染料對顏色飽和度沒有明顯改善，但它擴大了可用顏色的範圍。

若使用 RIT ProLine 染料，我們建議的濃度為每 1 公斤水中加入 100 克染料和 100 克檸檬酸。額外的染料和/或檸檬酸可能會增加零件的染色吸收量。增加染色吸收量會使最終產品的顏色更加飽和和強烈。請從建議的濃度開始，並使用一些測試零件來評估顏色和時間對最終零件外觀的影響，然後根據需要添加更多染料或不同顏色的染料，以調整到所需的外觀。

經測試，去離子水和自來水之間沒有顯著差異。所使用的自來水來自馬薩諸塞州 Somerville，水硬度平均為 16 mg/L。住在水硬度較高地區的用戶，可能會發現自來水與去離子水的染色效果有所不同。

## 浸染工作流程

Formlabs進行了廣泛的測試，以確定使用可獲得的低成本染色技術，可以實現哪些顏色。所使用的染料是 RIT ProLine 染料，這是一種低成本、容易獲得的粉末，包含直接染料、酸性染料和分散染料的混合物，對尼龍纖維有效。進一步測試的變數包括溫度、酸度、染料飽和度、染色時間的長短，以及染料溶液中的洗滌劑添加劑。測試中使用了尼龍 12 粉末和尼龍 12 白色粉末零件，下面將涵蓋每個變數的影響。

### 零件準備

在染色之前，確保零件徹底清潔是至關重要的。零件表面殘留的鬆散粉末可能會與燒結粉末以不同的方式吸收染料，從而導致染色效果不均勻，並使零件的耐洗性降低。我們建議使用 Fuse Blast 自動清潔和拋光解決方案來清潔零件。這將確保零件上的所有鬆散粉末都被去除，同時不會增加工作流程中的額外工作時間。另一種選擇是使用手動噴砂機，來確保零件乾淨。

當清潔使用尼龍 12 白色粉末列印的零件時，不建議使用之前用於灰色粉末的噴砂機，因為殘留的粉末可能會使白色零件呈現灰色光澤。為避免這種情況，最好使用專門針對白色粉末的清潔設備，或者在清潔過程中定期清理噴砂機，以避免不同顏色粉末之間的交叉污染。

## 浸染

將染缸加熱至 90 °C 以最大化顏色飽和度。根據所使用的染缸，染缸的加熱過程可能需要幾個小時。一旦染缸達到最高溫度，將零件放入染缸中測試一分鐘。這段時間足以評估顏色，並決定是否需要進一步調整染料或在染缸中的時間。

### 溫度和時間

溫度和時間對最終零件顏色有很大影響。根據我們的測試，較高的溫度會在更短的時間內達到更飽和的顏色。



這張圖片中的零件是在相同的染缸中染色的，染缸溫度為 90°C，零件分別在每 3 分鐘的間隔內從右到左取出。

如果需要較淺的顏色，可以考慮將染料溶液的溫度降低至 70°C 或更低。在較高溫度下，染色飽和度可能會非常迅速達到，這樣會留下非常少的偏差空間，並且可能導致最終零件的顏色不一致。

隨著時間的推移，零件的染料吸收量會增加，但這一現象會在 20-25 分鐘時趨於穩定，因為零件達到飽和點，表面無法再吸收更多染料。

## 添加劑

某些添加劑可以改變染色過程，並改善均勻性或染料吸收量。對於 RIT ProLine 和 Jacquard 酸性染料，檸檬酸或醋酸通常用作必要成分，用以使染缸酸化。硫酸銨也可以作為檸檬酸或醋酸的大部分或全部替代品，按1:1的比例使用。

硫酸銨是一種較溫和的酸源，並且是一種調平劑，意味著它會減慢染料進入零件的速度。這對於達到較淺顏色的均勻性，或在需要更精確控制顏色深淺的染色工作流程中特別有用。除了酸源之外，其他可以使用的調平劑包括硫酸鈉、醋酸鈉以及陽離子或非離子表面活性劑。

表面活性劑在染浴中以及染後清洗過程中都很有幫助。將表面活性劑加入染劑中，可以幫助染料滲透到零件的小孔或通道中，同時也有助於染料的調平。可以使用非離子型的家庭洗滌劑，例如 Alcojet 低泡洗滌劑，建議用量為每 1 公斤染劑 10 克。由於離子型表面活性劑（如洗碗液）可能會引起泡沫或氣泡，因此不推薦使用此類產品。

為了最小化染料從零件中脫落，可以在染色後使用溫和的表面活性劑清洗零件，以去除多餘或未結合的染料。需要小心使用，因為強效表面活性劑和/或熱水可能會導致染色褪色。我們建議使用專門設計的清潔劑，如Synthrapol，並遵循製造商的使用說明。

在清洗後，可以通過使用染料固色劑來防止染料脫落。這些產品用於清洗並乾燥後的染色零件，並且有許多選擇可以在線上購買。確保選擇一種專為酸性染料、尼龍、絲綢或羊毛設計的固色劑。此外，作為使用固色劑的補充或替代方案，染色零件也可以進行塗層處理，以達到最佳的耐洗性和耐光性。聚氨酯塗層通常用於染色布料，但使用時可能較為挑戰。對於較小規模或較簡單的工作流程，也可以使用布料塗層和保護劑作為染色零件的表面塗層。請確保選擇與尼龍布料兼容的塗層。

## 更換浸染染劑顏色

在更換染缸顏色時，首先要完全清除目前的染料溶液，並根據當地的法規以及染料的安全數據表（SDS）處理這些溶液。或者也可以根據當地的安全規定，將染劑以液體形式儲存，以便日後使用。隨著染料溶液加熱和循環，可能會出現一些沉澱現象。因此，在清洗染缸後，應擦拭容器的牆壁和底部，以確保不會發生顏色交叉污染。完成這兩個步驟後，建議用清水沖洗，以確保循環系統中殘留的染料被徹底清除。

只有在清潔完機器後，才能準備新的染料溶液。如果需要頻繁使用多種顏色，購買多台循環器以避免頻繁更換染劑是個不錯的選擇。

### 浸染染劑老化

隨著連續的零件批次進入染缸，染料顏料會被零件表面吸收，從而減少染劑中的染料濃度。為了彌補這一點，可能需要向溶液中添加額外的染料。為了獲得最一致的顏色效果，對於每個循環來說，使用新的染劑是最佳的選擇。

## 浸染後處理

### 清洗

染色後，應使用水清洗零件。這一後處理的清洗步驟可以去除零件表面上的多餘染料溶液。這些多餘的染料在乾燥過程中可能會不均勻地著色零件，並且在接觸水分時可能會脫落。

要清洗零件，只需將它們浸泡在溫水中沖洗1到5分鐘，或者直到水流乾淨為止。如果一次取出許多零件，應立即將它們放入冷水中。未經沖洗的多餘染料如果乾在零件上，會導致顏色不均勻。

### 烘乾

在清洗後將零件乾燥有助於防止污漬。這是一個可選步驟，但特別推薦對於具有內部腔體的零件，因為這些腔體可能會將液體困在內部。這些零件可能會乾得不均勻，導致部分表面出現水痕污漬。為了減少這種情況，確保在完成染色循環後徹底清洗掉多餘的染料，並且如果可能，使用壓縮空氣盡量去除多餘的水分，以協助乾燥過程。為了保持一致性，我們發現使用食物脫水機是一種低成本且能夠實現可重複結果的方法。

### 拋光

在染色後使用 Fuse Blast 拋光系統是一種有效的方法，可以提高染色零件的反射率，從而使染色零件呈現更高的光澤外觀。零件也可以在蒸氣平滑處理後再進行染色，這樣可以達到光滑的光澤效果。

## 顏色與材料搭配

### 白色物件浸染



使用尼龍 12 白色粉末列印的白色物件在右側，染色後的相同對應物件則在左側。

染色尼龍 12 白色粉末是達到最廣泛顏色範圍的最佳選擇。尼龍 12 白色粉末應用於所有淺色，包括粉彩色和鮮豔色。

### 灰色物件浸染

本白皮書中描述的過程已成功用於染色尼龍 12 粉末零件。然而，由於使用尼龍 12 粉末列印的零件是深灰色的，因此只能達到較深的顏色陰影，且這些顏色通常較為柔和，缺乏鮮豔感。



深灰色的尼龍 12 粉末零件只能染成較深的顏色。

## 黑色物件浸染

如果最終目標顏色是黑色，建議使用 Formlabs 的標準尼龍 12 粉末搭配 Rit ProLine 黑色染料。這種材料具有較深的基底，使得染成黑色的過渡更為一致。

雖然可以將尼龍 12 白色粉末零件染成黑色，但不推薦這樣做。由於較淺的基底，染成深色會比染成最初的深色尼龍 12 粉末更具挑戰性。當將尼龍 12 粉末零件染成黑色時，將染缸保持在 80°C，並將零件浸泡 30 分鐘，通常能夠穩定地得到黑色零件。

## 浸染的優勢

染色通常是作為塗層的替代方案。與傳統的油漆和塗層相比，染色的優勢在於成本較低，勞動需求較少，並且可以對複雜幾何形狀的零件進行著色。

### 成本

將染色工藝引入內部所需的設備非常容易獲得。設備到位後，進行染色試驗的成本極低。因此，在大多數情況下，染色比油漆和塗層更具成本效益。

### 勞動需求

染色過程大部分是自動化的；一旦準備好染料溶液，設備會自動調節染浴的溫度。唯一需要勞動的部分是將零件放入循環的染浴中，然後在達到預定時間後取出並沖洗零件。這種低勞動需求是使用染色來著色 SLS 3D 列印零件的另一大優勢。

### 物件幾何形狀

Fuse 系列 SLS 3D 列印機能夠列印高度複雜的幾何形狀。這可能會導致一些特徵難以或無法使用傳統的塗層覆蓋，傳統塗層通常依賴直視噴塗。由於染色使用水溶液來賦予顏色，因此複雜的內部幾何結構與外部特徵一樣有效地進行染色。

## 浸染限制

在染色零件時，有一些限制因素需要考慮，以確保能夠獲得可重複的結果。

### 幾何限制

在染色具有幾何結構的物件時，確保它們完全浸入染缸中。具有內部空腔的零件往往會困住空氣並浮起來，這會妨礙染料滲透到漂浮在溶液表面上的區域以及包含氣泡的內部表面。強制將物件浸入水中並進行攪動以去除困住的空氣應該能有效解決這個問題。

### 染色限制

在染色較淺的顏色時，染浴中的時間和溫度將顯著影響零件的最終顏色。如果需要特定的顏色，或者所有零件在多次染色過程中需要保持一致的顏色，請確保每次將零件從溶液中取出時所經歷的時間相同，並且零件始終在相同的溫度下染色。

## 工作空間限制

染色過程可能會非常凌亂。在將零件放入或取出染色溶液時，可能會發生飛濺和滴落。任何濺到皮膚或衣物上的染料都會留下顏色，因此應使用適當的個人防護裝備（PPE）。我們還建議將染色設備放置在不希望染色的表面附近，例如白色牆壁。

染料的處理也可能會是挑戰，這取決於使用的染料類型。請確保查看當地的水質要求，並遵循安全數據表（SDS）以確保染色溶液得到妥善處理。

最後要考慮的工作空間限制是氣味。由於染色過程需要加熱溶液，因此根據染浴所含物質，可能會產生煙霧。在我們的測試中，一些品牌的氣味比其他品牌更加明顯，但在所有情況下，都強烈建議保持適當的通風。RIT ProLine 的氣味比其他品牌較不明顯。

## 耐光性與耐洗性

染色零件的顏色隨著時間的推移會隨著暴露於光線或水中而退色。這些屬性分別被稱為光穩定性和洗滌穩定性。如果零件在染色後未充分清洗，則在潮濕環境中可能會發生染料脫落。詳細資訊可參見《後浸染清洗》部分。即使物件在染色後得到了妥善的清洗和乾燥，褪色仍然可能發生。在高溫或經常洗滌的情況下，這種褪色會加速。長時間暴露於陽光或紫外線下，也會引起褪色。

任何形式的紫外線保護，如抗紫外線透明塗層，都可以幫助提高光穩定性。像 Krylon 和 Rustoleum 等品牌廣泛可得且成本效益高。在測試中，使用 RIT ProLine 黑色染料染色的尼龍 12 白色粉末在經過相當於一周陽光曝曬後，顏色保持一致。同樣，經過 60 °C 水浸泡六小時後，染色零件的顏色褪色約 3 %（接近人眼的感知極限）。這些零件中觀察到有顯著量的染料脫落，污染了它們浸泡的水以及接觸到的皮膚或衣物。



染色非常適合用於功能性原型製作和最終用途的物件生產，能夠提供自訂顏色以符合品牌的美學要求。

## 結論

使用易於獲得的設備和染料材料染色尼龍 12 白色粉末和尼龍 12 粉末零件，是一種具有成本效益且高效的染色方法，能夠為最終零件賦予顏色，無論是任何期望的色調。這個過程提供了一個可行的替代方案，相比傳統的塗層技術，它需要的勞動力最少，並且能夠有效地對複雜幾何形狀進行上色。遵循本白皮書中概述的建議指導方針，使用者可以達到一致且理想的結果，從而擴展 SLS 3D 列印尼龍零件的潛在應用。不論是出於美學、功能性或安全性目的，染色提供了一種將顏色融入 3D 列印元件的有價值解決方案。

如果您正在探索需要顏色 SLS 列印尼龍零件的應用，請聯繫台灣天馬以了解更多關於 Fuse 列印系統和尼龍燒結物件浸染的資訊。