



報告

安全使用 formlabs SLS 產品： 空氣質量和粉塵危害分析

目錄

概要	3
U.S. Compliance 空氣質量評估	4
過程	4
結果	5
要點	5
Stonehouse 易燃物和粉塵危害分析	6
範圍	6
DHA 方法	6
DHA 結果—設備	6
DHA 結果—建築物	7
DHA 要點	7
Formlabs 內部管理程序	8
房間及常規設備	8
易燃材料	8
粉末	8
化學品和廢料	8
總結	9
免責聲明	10

概要

Formlabs 設計和製造選擇性雷射燒結 (SLS) 解決方案的宗旨在於確保提供安全可靠和易於使用的 3D 列印體驗。請查閱 Formlabs 機器手冊和粉末安全資料表，並將其作為安全資訊的主要來源。

請造訪 Formlabs 支援頁面，以取得工作區準備和快速入門指南等其他文件。

為了進一步提供與 SLS 粉末處理相關的健康和安全信息，Formlabs 向 U.S. Compliance 申請進行了空氣品質評估，並要求 Stonehouse Process Safety 進行易燃物和粉塵危害分析。這兩項研究均在美國馬薩諸塞州薩默維爾的 Formlabs SLS 研究與開發 (R&D) 場所內進行，該場所擁有約 60 台 SLS 印表機和 15 台後處理機器。

在 Formlabs R&D SLS 設備進行的研究顯示：

- 即使場所內放置了許多列印機，空氣中的粉末濃度也比 OSHA 的要求低 7 到 100 倍。
- 列印設備內部已整合了保護設施，因此點燃粉末的可能性極低。
- 從員工安全的角度來看，整體風險可以忽略不計。

根據研究結果可知，在 Formlabs 設施中操作 Fuse 解決方案時，無需特殊的個人防護裝備、呼吸器或護目鏡。唯一的要求就是遵循定期內部管理計劃，並在處理粉末時戴上護目鏡和丁腈手套。

本文檔總結了每個報告的結果和主要發現，並提供了關於可行 SLS 內部管理的實踐指導。

U.S. Compliance 空氣品質評估

U.S. Compliance 是環境、健康與安全 (EHS) 合規管理的領導者，負責提供職業安全與健康管理局(OSHA) 合規和 EHS 諮詢解決方案。閱讀此頁面內容，詳細了解 OSHA 要求。

過程

U.S. Compliance 對 Formlabs MA R&D 設備進行了空氣品質評估，以確定員工接觸粉末的程度。所考慮的參數為 8 小時時間加權平均值 (TWA)，即員工在 8 小時輪班中的平均空氣接觸量。需從上午 9:00 至下午 5:00 連續進行兩次空氣採樣。

1. 房間採樣

監視器安裝在三腳架上，並放置在多個工作區內。測量了 8 個房間，包括工程實驗室、擁有大量列印機機組的列印生產農場和介質噴砂室。工作區面積大小不等，包括有 20 多台 Fuse 印表機和 4 台 Fuse Sift 的 190m² 大房間以及放置了約 10 台列印機和 4 台 Fuse Sift 的 35m² 小房間。



Formlabs R&D SLS 材料實驗室位於薩默維爾市，佔地約 37m² (180m³)，擁有 10 多台 Fuse 列印機和 4 台 Fuse Sift。

所有 Formlabs SLS 房間均配備了 HVAC 系統，每小時進行三次充分換氣。在某些情況下，可透過在窗戶上添置排氣扇來增加換氣次數，而不必改變現有 HVAC 系統。

2. 員工採樣

一群員工在整個工作日內佩戴監視器，負責管理大型 Fuse 列印機機組並執行所有列印任務，類似服務中心：

- 一般實驗室活動
- 常規 Fuse 系列列印機操作
- 常規 Fuse Sift 操作
- 對部件進行噴砂處理

- 將粉末倒入料斗
- 更換粉末
- 廢物固結
- 清空用於清理 Fuse 解決方案內部和周圍的吸塵裝置

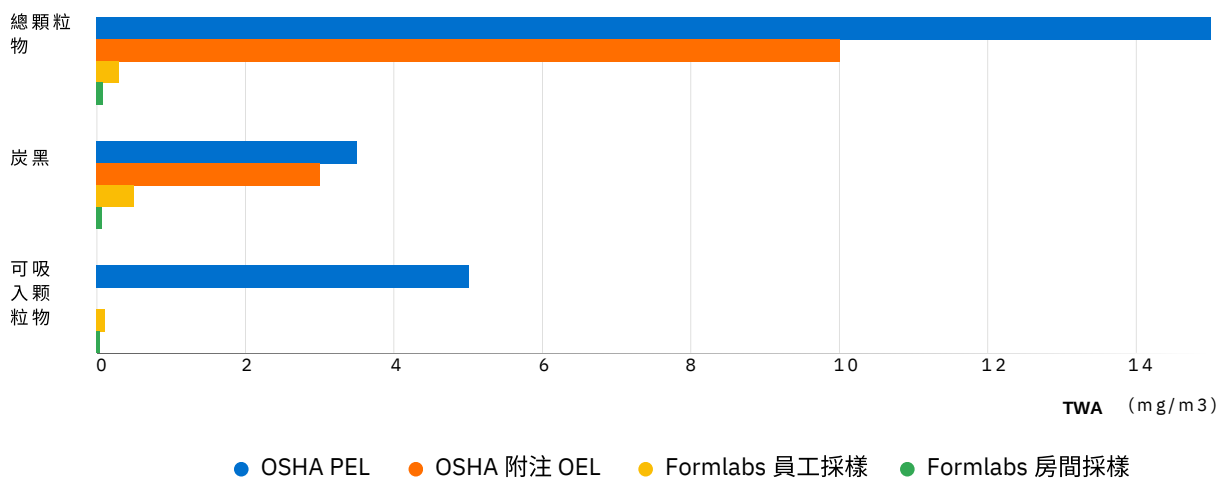
採用空氣採樣盒進行測試，並使用以 2.0L/mn 和 2.5L/mn 流速校準的泵浦。他們考慮了以下濃度參數：

1. 與所有粉末相關的總顆粒物
2. 與所有粉末相關的可吸入顆粒物
3. 與所有粉末相關的炭黑（Fuse 解決方案中使用的某些 SLS 粉末按質量計算含有 0.1% 至 1% 的可吸入炭黑）

八小時內的 TWA 濃度應低於 OSHA 或同等監管機構規定的允許暴露限值 (PEL)。PEL TWA 是指在不產生不良健康影響風險的情況下，員工可以接觸到的最高水平，且建議不超過附註的職業接觸限值 (OEL)。

結果

在 Formlabs SLS R&D 場所測得的 TWA 平均粒狀物濃度和 TWA OSHA 暴露限值。



要點

在正常使用 Fuse 解決方案的情況下，即使一個房間內放置有十幾台列印機，空氣中的粉末濃度也比 OSHA 建議和允許的接觸限值低 7 到 100 倍。正常使用 Fuse 解決方案時無呼吸系統不良健康影響風險，並符合 OSHA 粉塵接觸法規。

Stonehouse 易燃物和粉塵危害分析

Stonehouse Process Safety (Stonehouse) 是防止爆炸、火災和意外物質釋放的產業領導者。他們可提供有品質保證的測試資料和流程安全管理解決方案。

範圍

2022 年 12 月，Stonehouse 在 Formlabs SLS R&D 場所進行了易燃物和粉塵危害分析 (DHA)。本研究旨在幫助 Formlabs 識別與使用 SLS 解決方案相關的潛在粉末火災和爆炸危險。本評估將遵循美國國家消防協會 (NFPA) 關於加工和處理易燃顆粒固體的共識和標準指引。

SLS 粉末以及許多其他材料（如鋸末和麵粉）都屬於易燃物質，在某些條件下會開始燃燒。發生火災需要三個要素：氧氣、燃料（易燃物）和點火源。對於涉及易燃粉末的爆炸，還需要兩個附加條件：必須將成分限制在一個密閉的體積內，且粉末在空氣中的分佈或濃度應高於最低爆炸濃度 (MEC)。



火焰三角和爆炸五角形標誌。

基於這種理解，Stonehouse 透過檢查 Formlabs SLS 解決方案的氧化環境、可靠點火源和可靠懸浮機制，評估了粉塵爆炸的潛在危險。他們評估了涉及利用該工藝的設備和建築物，包括 SLS 粉末、Fuse 系列列印機、Fuse Sift、粉末處理和加工區域以及場所的內部管理流程。

DHA 方法

Stonehouse 專家對六種 Formlabs 粉末樣本進行了實驗室測試，以評估相關的爆炸性數據，包括 Nylon 12 粉末、Nylon 11 粉末、Nylon 11 CF 粉末、Nylon 12 GF 粉末、TPU 90A 粉末和一款正在開發的粉末。測試內容包括：

DHA 結果－設備

粉末爆炸性

Stonehouse 評估了粉末易燃性。下表總結了相應的測試結果和數據說明。

測試	結果	說明
爆炸性篩選（通過/不通過）	通過	這些粉末屬於易爆炸物質。
最小點火能量 (MIE) (mJ)	高 $300 < MIE < 1000$	火花點燃這些粉末的風險很低。
最低點火溫度（雲）(MITcloud) (°C)	高 $400 < MITcloud < 440$	粉塵雲的自燃風險很低。
最小爆炸濃度 (MEC) (g/m ³)	高 MEC = 40	粉塵雲的爆炸風險很低。

- **火花和靜電放電點燃這些粉末的風險很低。** 所有粉末的最小點火能量 (MIE) 較高，範圍從 300 到 1000mJ。即使是未接地設備產生的強烈火花放電也不會產生此類型能量。
- **如果接觸加熱環境、高溫表面和摩擦火花，粉塵雲會呈現低自燃風險。** 所有測試樣品均具有較高的最低點火溫度 (MITcloud)，即高於 400°C。另外，電熱板 (MITlayer) 上粉塵層的最低點火溫度高於 350°C。這表示只有在發生火災時才會點燃這些粉末。
- **如果要點燃粉末，則必須產生密度極高的粉塵雲。** 這是由於和大多數有機產品相比，這些粉末的最低爆炸濃度 (MEC) 值相對較高。

因此，可認為 **Formlabs SLS 粉末難以點燃和爆炸**。只有密度極高的粉塵雲與明火接觸才會引發爆炸。Stonehouse 觀察發現，就列印操作原理而言，不會出現大量的粉末層或懸浮的粉塵雲。

Fuse 系列列印機和 Fuse Sift DHA

- Fuse 系列列印機利用雷射選擇性地逐層熔合粉末。Fuse Sift 屬於封閉式系統，用於從列印零件去除和回收多餘的粉末。
- 設備內的熱源溫度遠低於粉末 MIT、MITcloud 和 MITlayer，顯示粉末在設備內不會起火。
- 設備內部的所有電氣元件都與粉末隔離，並非是潛在的點火源。
- 與篩分設備的整體內部體積相比，可認為用於清理作業的 Fuse Sift 內粉塵雲體積較小。用於支援 Fuse Sift 內清理操作的任何附加電氣設備本質上都是安全的，並且適用 II 類 1 級環境。例如，具有可充電鋰電池的電刷工具可能是潛在的點火源。

點燃的可能性極低，因為在列印和篩選設備內部已整合了保護設施。 例如，Fuse 系列列印機具有熱敏感測器，並會在高溫下停止運作。就員工安全而言，起火的後果並不嚴重。從員工安全的角度來看，整體風險可以忽略不計。

DHA 結果－建築物

為了避免設施內的閃火或爆炸危險，Stonehouse 建議使用 NFPA 層深標準方法或品質方法 A 指定內部管理計劃，以確定會觸發清理活動的粉末積聚水平。吸塵處理是首選的清理方法，可避免產生粉塵雲，並可在較高的海拔再次沉澱灰塵。

Stonehouse 並未發現 Formlabs SLS R&D 區域有任何明顯的逸散粉塵積聚，因此認為該設施內出現密集粉塵雲的可能性較低。這可以透過列印操作原理以及下文所述的簡單內部管理程序的影響加以解釋。Formlabs 的 SLS 工作區可歸類為非危險區域。

DHA 要點

SLS 粉末屬於易燃物質。然而，Stonehouse DHA 表明，考慮到 Formlabs 粉末的性質、硬體中包含的安全功能以及可避免灰塵積聚的定期清理，粉末火災和爆炸的風險可以忽略不計。

Formlabs 內部管理程序

Formlabs R&D 團隊每週都會進行簡單的清潔工作，以確保設備無粉末危害。主要操作是對所有表面進行吸塵處理，以防止灰塵積聚。經評估，Formlabs 設施為「非危險區域」，因此該團隊將使用靜態耗散吸塵裝置，並遵循 NFPA 易燃粉塵輸送指南（歐盟 ATEX Ex II 3d）。請造訪 Formlabs 支援頁面，以取得工作區準備等所有產品文件。以下是 Formlabs 所遵循的一些其他的最佳實踐：

房間及常規裝備：

- 應準備應急設備並放置在明顯位置。
- 應備置、整理和存放工具、梯子和個人防護裝備。
- 所有建築物應依照 NFPA 的規定配備滅火器。
- 應關閉電氣面板，並清除障礙物以及潛在的點火源。
- 製程設備的導電部件必須依照 NFPA 的建議進行連接和接地。

易燃材料：

- 應為所有易燃物品指定存放地點。
- 如果 Fuse 設備位於車間內，則應保證指定熱加工區域遠離易燃物和可燃物，並應在附近區域放置滅火器。應根據 NFPA 制定熱加工計劃。

粉末：

- 對所有表面和地板進行吸塵器處理，其中包括 HVAC 系統或天花板等高處。避免灰塵層厚度大於 回形針直徑 (0.8mm) 或避免設備因灰塵而明顯變色。務必立即使用吸塵器裝置清理使用過程中溢出的粉末。
- 關閉所有粉末容器。
- 務必先清理成型室，然後在不使用時將其放回層架。
未清理的成型室會在車間周圍傳播灰塵，並有可能與來自不同材料成型室的粉末交叉污染。
- 過量使用的粉末可以透過將刷新率設為 0% 並添加到空粉末盒中來進行給粉。然後將粉末放入 55 加侖的纖維桶中，並將刷新率恢復為預設值以供未來用戶使用。
- 遵循 Formlabs 手冊進行粉末維護、儲存和處置。
- 遵循 NFPA 建議，使用導電或靜態耗散 (SD) 軟管輸送粉末。

化學品和廢料：

- 在不使用時應關閉化學品容器並妥善儲存，同時標註化學品的完整名稱和相關危害。
- 應清空垃圾桶和回收容器。
- 員工應在執行清理工作時遵循安全工作規範，採用適當的廢棄物處置流程，並請 EHS 協助處理不需要的廢棄物。



總結

U.S. Compliance 和 Stonehouse Safety Process 在 Formlabs SLS R&D 場所中進行了空氣品質評估估計和粉塵危害分析。這兩項研究均依照 OSHA 和 NFPA 的規定進行。結果表明，只要遵循粉末安全數據表、硬體手冊和相關的內部管理程序，正常使用 Fuse 解決方案並不會造成呼吸系統不良健康影響或火災或爆炸危險。

如上所述，在 Formlabs 工廠處理 SLS 粉末只需要使用護目鏡和丁腈手套。Formlabs 建議使用者了解並遵守當地法規、尊重產品說明和內部管理規則，並評估其工作區和實踐方法，以識別一切潛在的安全隱患。

免責說明

請注意，本報告中所述的發現和結論均限於特定評估地點，即 Formlabs 位於馬薩諸塞州薩默維爾的辦公室。如果尚未進行具體的評估和分析，結果和建議可能無法適用或轉移到其他地點或設施。對於本報告所提供的資訊被誤解或誤用到其他地點或情境中的情況，Formlabs 將不承擔任何責任。



台灣銷售諮詢
台灣天馬科技股份有限公司
02-25377638
formlabs@teama.com.tw
www.taiwanteama.com.tw



官網



YouTube



臉書粉專