

■ 勞動部補助職業災害預防計畫

期末報告

單位名稱：中臺科技大學

計畫名稱：金屬打磨、拋光作業火災爆炸危害評估與改善

計畫類別：職業災害預防技術之研發及培訓

計畫主持人：謝明宏 單位負責人：陳錦杏

計畫執行期間：112年01月01日至112年12月31日止

中臺科技大學 112 年職災預防補助案期末報告專家意見回復：

| 專家意見 | 回復 |
|--|--|
| 1. 實驗結果圖過於模糊，圖需保持清晰，若有色彩更佳，需要進行修改。 | 謝謝委員的建議，圖片已有再做修改。 |
| 2. 將示意圖改為實體操作圖，另實驗樣品補上樣品圖，能增加理解度及認知。 | 謝謝委員的建議，由於實體操作圖業者不願意提供，故無法顯示。另，實驗樣品圖已新增，如修正後期末報告 p.47。 |
| 3. 建議補充目前國內業者在使用各種不同打磨拋光程序的佔比。 | 謝謝委員的建議，由於國內業者在使用各種不同打磨拋光程序範圍極其廣泛，故無法進一步進行分析與統計。 |
| 4. 案例分析請補充說明發生火災爆炸的打磨拋光程序。 | 謝謝委員的建議，已補充，如修正後期末報告 p.24。 |
| 5. 檢查表建議增加： (1) 氫氣檢測器，偵測濃度與設置位置。 (2) 通風設備建置之風量。 (3) 遠離火源距離之建議。 | 謝謝委員的建議，如修正後期末報告 p.81、p.78、p.76。 |
| 6. 基本上金屬粉末是否會與水發生反應，應與氧化還原電位及粉末粒徑有關，第 27 頁(1)物料與水不相容性試驗，請補充說明本研究所探討之金屬粉末的氧化還原電位，及鋼粉、鋁合金粉末的種類與型號。 | 謝謝委員的建議，由實驗結果顯示本研究所採集的樣本皆未與水反應，故氧化還原電位及粒徑不在此次探討範圍內。另。因鋼粉、鋁合金粉末的種類與型號皆屬商業機密業者不願意提供，故無法顯示。 |
| 7. 有關本實驗與打磨作業爆炸失誤樹分析實驗的差異性，請說明第 45 頁之研究所使用粉體是否為收集自相關場所的粉體。 | 謝謝委員的建議，研究所使用粉體收集之場所如修正後期末報告 p.47。 |
| 8. 建議未來可以考慮 pH 值對於粉體火災爆炸的影響。 | 謝謝委員的建議，未來會將 pH 值對於粉體火災爆炸的影響納入考慮。 |

目錄

| | |
|---|-----|
| 圖目錄..... | III |
| 表目錄..... | IV |
| 第一章 報告摘要 | 1 |
| 第二章 計畫緣由及目的 | 2 |
| 第三章 研究方法 | 7 |
| 第四章 研究資料之來源與分析 | 17 |
| 一、打磨..... | 18 |
| 二、拋光..... | 19 |
| 三、金屬打磨、拋光作業重大火災爆炸事件分析..... | 24 |
| 第五章 研究結果之分析 | 44 |
| 一、金屬打磨、拋光作業安全與衛生缺失..... | 44 |
| 二、金屬粉末火災爆炸特性與安定性檢測與分析..... | 46 |
| 三、金屬打磨、拋光作業火災爆炸防護之現況與方法 ^[20] | 66 |
| 四、防止金屬打磨、拋光作業火災爆炸危害之安全改善對策..... | 68 |
| 五、金屬打磨、拋光作業之安全衛生查核表..... | 72 |
| 六、金屬打磨、拋光作業安全管理手冊..... | 82 |
| 第六章 各項預定目標之達成程度 | 129 |
| 第七章 結論及建議 | 130 |
| 第八章 經費運用情形報告 | 136 |
| 第九章 效益評估 | 137 |

| | |
|----------------------|-----|
| 參考文獻..... | 139 |
| 附件一 期中委員審查意見回覆 | 143 |
| 附件二 訪視紀錄 | 146 |

圖目錄

| | |
|-----------------------------------|----|
| 圖 1 計畫實施流程圖 | 15 |
| 圖 2 打磨過程示意圖 | 19 |
| 圖 3 機械拋光示意圖 | 20 |
| 圖 4 化學拋光示意圖 | 21 |
| 圖 5 電解拋光示意圖 | 22 |
| 圖 6 超聲波拋光示意圖 | 22 |
| 圖 7 流體拋光示意圖 | 23 |
| 圖 8 塵爆五要素示意圖 | 25 |
| 圖 9 鋁合金打磨作業塵爆失誤樹 | 26 |
| 圖 10 打磨區鋁合金粉開放式熱安定性升溫曲線 | 31 |
| 圖 11 打磨區鋼粉開放式熱安定性升溫曲線 | 32 |
| 圖 12 打磨區鋁合金粉(加水)開放式熱安定性升溫曲線 | 33 |
| 圖 13 打磨區鋼粉(加水)開放式熱安定性升溫曲線..... | 33 |
| 圖 14 打磨區鋁合金粉粒徑分布圖 | 35 |
| 圖 15 打磨區鋼粉粒徑分布圖 | 35 |
| 圖 16 打磨區鋼粉照片 | 36 |
| 圖 17 標準液校正(pH 7.0)..... | 64 |
| 圖 18 標準液校正(pH 4.0)..... | 64 |

表目錄

| | |
|--------------------------------------|----|
| 表 1 金屬粉塵火災爆炸案例 | 4 |
| 表 2 打磨區鋁合金粉與水不相容性試驗 | 29 |
| 表 3 打磨區鋼粉與水不相容性試驗 | 29 |
| 表 4 打磨區鋁合金粉開放式熱安定性測試實驗情形對照表(燃燒) .. | 30 |
| 表 5 打磨區鋼粉開放式熱安定性測試實驗情形對照表(未燃燒) | 31 |
| 表 6 鋁合金粉粒徑分布表 | 35 |
| 表 7 打磨區鋁合金粉體燃燒情形 | 37 |
| 表 8 打磨區鋼粉燃燒情形 | 38 |
| 表 9 電阻率檢測數據 | 39 |
| 表 10 水溶液 pH 值量測數據 | 40 |
| 表 11 打磨區鋁合金粉體可爆性測試情形 | 41 |
| 表 12 打磨區鋼粉體可爆性測試情形 | 41 |
| 表 13 粉體試驗樣品 | 47 |
| 表 14 鋁粉(環境粉塵)與水不相容性試驗 | 48 |
| 表 15 鋁粉(集塵機)與水不相容性試驗 | 48 |
| 表 16 鈦合金(集塵機)與水不相容性試驗 | 49 |
| 表 17 鎂鋁屑(乾)與水不相容性試驗 | 49 |
| 表 18 鐵粉與水不相容性試驗 | 49 |

| | | |
|------|-------------------------------|----|
| 表 19 | 鋁粉(環境粉塵)燃燒行為測試-無風速 | 51 |
| 表 20 | 鋁粉(環境粉塵)燃燒行為測試-0.2 m/s | 52 |
| 表 21 | 鋁粉(環境粉塵)燃燒行為測試-1.0 m/s | 52 |
| 表 22 | 鋁粉(集塵機)燃燒行為測試-無風速 | 53 |
| 表 23 | 鋁粉(集塵機)燃燒行為測試-0.2 m/s | 53 |
| 表 24 | 鋁粉(集塵機)燃燒行為測試-1.0 m/s | 54 |
| 表 25 | 鈦合金粉(集塵機)燃燒行為測試-無風速 | 54 |
| 表 26 | 鈦合金粉(集塵機)燃燒行為測試-0.2 m/s | 55 |
| 表 27 | 鈦合金粉(集塵機)燃燒行為測試-1.0 m/s | 55 |
| 表 28 | 鋁鎂合金燃燒行為測試-無風速 | 56 |
| 表 29 | 鋁鎂合金燃燒行為測試-0.2 m/s | 56 |
| 表 30 | 鋁鎂合金燃燒行為測試-1.0 m/s | 57 |
| 表 31 | 鐵粉燃燒行為測試-無風速 | 57 |
| 表 32 | 鐵粉燃燒行為測試-0.2 m/s | 58 |
| 表 33 | 鐵粉燃燒行為測試-1.0 m/s | 58 |
| 表 34 | 鋁粉(環境粉塵)粉體可爆性測試情形..... | 60 |
| 表 35 | 鋁粉(集塵機)粉體可爆性測試情形..... | 60 |
| 表 36 | 鈦合金(集塵機)粉體可爆性測試情形..... | 61 |
| 表 37 | 鐵粉(集塵機)粉體可爆性測試情形..... | 61 |

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 表 38 鋁粉(環境粉塵)電阻率量測..... | 62 |
| 表 39 鋁粉(集塵機)電阻率量測..... | 62 |
| 表 40 鈦合金粉(集塵機)電阻率量測..... | 62 |
| 表 41 鎂鋁屑(乾)電阻率量測..... | 63 |
| 表 42 鐵粉電阻率量測 | 63 |
| 表 43 鋁粉(環境粉塵) pH 值..... | 64 |
| 表 44 鋁粉(集塵機) pH 值 | 64 |
| 表 45 鈦合金粉(集塵機) pH 值..... | 64 |
| 表 46 鎂鋁屑(乾) pH 值..... | 65 |
| 表 47 鐵粉 pH 值..... | 65 |
| 表 48 安全衛生檢核表 | 72 |
| 表 49 金屬打磨拋光作業風險危害鑑別檢核表 (範例) | 84 |
| 表 50 防靜電鞋環之分類 | 95 |
| 表 51 局部排氣裝置及吹吸型換氣裝置重點檢查紀錄表 | 98 |
| 表 52 局部排氣裝置及吹吸型換氣裝置自動檢查紀錄表 | 99 |
| 表 53 經費支用報告表(單位：新臺幣元)..... | 136 |

第一章 報告摘要

本研究工作內容有：首先蒐集與彙整國內、外金屬打磨、拋光作業火災爆炸工安事件，接著與國內檢查機構討論和篩選出具高風險危害或曾經發生事故之國內金屬粉塵作業廠家作為合作對象(至少三家)進行作業現場訪視(兩次)。首先會篩選一起金屬打磨、拋光作業火災爆炸重大案例進行災因分析(如發生死亡事件)，並於現場訪視過程中，蒐集與彙整其製程相關資訊，以及取樣作業現場之物料進行物質火災爆炸特性檢測與分析，接著統整事業單位防止金屬打磨、拋光作業產生火災爆炸危害之現況與方法，且針對其各項火災爆炸危害預防或防制措施之效能進行評估，更將探討金屬打磨、拋光作業業界所採取防止火災爆炸措施之適當性，並研擬防止金屬打磨、拋光作業產生火災爆炸危害在技術面及管理面上之相關安全改善對策，最後依國內外法規和規範、製程安全資訊、現場訪視結果及物料火災爆炸特性分析，找尋出國內金屬打磨、拋光作業中製程安全與風險管控之缺失與弱點等資訊，研擬製程安全查核表，而查核表之查核依據分為法規及非法規部份。

而前述的研究結果除將提供主管機關作為補充現行法令之參考外，更能協助提升金屬打磨、拋光作業廠家損害防阻模式與風險管理，有效降低國內之工安事故，進而增進國際競爭力。

第二章 計畫緣由及目的

由經濟部統計處發表產業經濟統計簡訊，指金屬製品業生產技術成熟，並有健全的中上游加工體系，其中，螺絲螺帽、手工具在國際上具高度競爭力，在金融海嘯後，營運指標優於整體製造業，資料顯示，金屬製品業從業人員有 39.3 萬人，僅次於電子零組件業。營業收入為新台幣 1.4 兆元，位居第 3，排行第 1 的電子零組件業，第 2 為化學原材料業，統計處分析，金屬製品業多為中小型工廠，但表現不俗，工廠家數、員工人數及營業收入都持續增長，民國 100 年至 108 年間工廠家數平均成長率為 3.7%、員工人數為 4.5%、營業收入為 2.8%，優於製造業的 1.7%、2%及 0.3%。進一步觀察金屬製品業組成，以金屬加工處理、螺絲螺帽與金屬手工具業為推升成長主要動力，金屬加工處理 108 年營業收入較 99 年增加 479 億最多，平均年成長 1.5%；螺絲、螺帽及鉚釘業產品近年積極朝高值化目標發展，拓展航太、汽車、醫療等中高階技術應用，營業收入增加 468 億元居次，平均年成長 3.7%；金屬手工具業營業收入增加 462 億元，居第 3，平均年成長 5.1%^[1]。

而金屬加工簡稱金工，是一種把金屬物料加工生成獨立零件、組件、或大型結構的工藝技術，金屬加工業為各種產品、用材的上游，主要製造電子與半導體、運輸工具、家電產品及其他五金等相關產品

之基本組件，金屬加工已經從冶煉各種礦石的發現演變而來，生產有用的工具和裝飾用的有韌性和延展性的金屬。現代金屬加工過程雖然種類繁多和具有專業性，可被分類為成型，切割或連接加工，其中研磨拋光是使工件產生平滑鏡面的超精密研磨技術，其目的在於使表面粗糙度及平坦度到達一定的可容許範圍，常被廣泛的使用在硬脆金屬、陶瓷、玻璃及晶圓等材料表面的精密加工^[2]。我國金屬製品業廠家數多，係產業分布廣泛，生產產品類型多樣性，能源消費主要是在製程設備，包含金屬加工、熱處理、表面處理。由於該產業大都為中小企業，在節能輔導的推動上較難著力。

在 2014 年 8 月 2 日江蘇昆山台資汽車零件商中榮金屬，在生產過程中發生汽車輪轂拋光廠房鋁合金粉塵爆炸意外，強烈爆炸威力造成嚴重傷亡，至同年 12 月底統計共有 146 人死亡，114 人受傷，本案不但震驚國際，更讓全球重視金屬拋光廠房粉塵作業之安全。而鋁合金係輕金屬，廣泛應用於手機、筆記型電腦外殼、自行車的車架及軍工產品等等，鋁合金產品鑄造成型後，常需研磨修邊，將多餘部分修掉，因此產生很多微細鋁合金粉塵，由於其具爆炸性，一旦發生爆炸事故往往造成難以承受之生命財產損失。

以國內為例，據統計 106 年迄今鋁合金作業發生火災爆炸之重大職業災害案有 6 起，分別發生在彰化、台中、高雄、桃園等地區，造成勞工 5 死 30 傷之重大傷亡，光近期桃園市就發生 2 起金屬粉塵火災爆炸案，造成 1 死及 5 傷，台中市發生 1 起金屬粉塵火災爆炸案，造成 1 死及 6 傷等悲劇。

表 1 金屬粉塵火災爆炸案例

| 時間 | 地點 | 案發情形 |
|------------|-------------|---|
| 2008/02/28 | 中國浙江省 台州 | 某工廠疑似該廠砂光機於研磨產生火花，點燃除塵管道中之鋁粉，而引起局部自燃，又金屬粉塵遇水則會產生更劇烈燃燒，而當時該公司以水來滅火，不料火勢更大而產生爆炸，造成 1 人死亡、31 人受傷 ^[3] 。 |
| 2008/03/04 | 桃園市 | 某一勞工於研磨作業後進行吹除身上沾黏之鎂鋁金屬粉末中，發現工作台上之縫隙有火花產生，而此火花經過集塵口被吸入集塵幹管，引燃了積存於集塵幹管底部之鎂鋁合金粉末，接著大量燃燒之粉末被吸入集塵機內，造成機內瞬間壓力增加而引起爆炸，造成 4 人受傷 ^[4] 。 |
| 2008/05/13 | 中國浙江省 溫州 | 某廠因廠內沒有除塵系統，而又當時環境之粉塵濃度已達爆炸濃度，遇火花而引起粉塵爆炸，造成 10 人受傷 ^[5] 。 |
| 2010/01/27 | 台中市 | 某一勞工進行拋光研磨作業時，發現在該研磨機之底座內出現火光，並由底座竄出隨即引發火災，造成 5 人受傷 ^[4] 。 |
| 2011/02/10 | 桃園市 | 某間工廠疑似因放置在廠房旁之 10 噸鎂粉因受潮而產生化學作用，進而引發爆炸，所幸無人傷亡 ^[6] 。 |
| 2011/05 | 中國四川 | 爆炸事發地點是生產 iPad 一個拋光車間，工人渾身都是粉塵，手上沾滿鋁粉，車間發生意外爆炸，兩人當場死亡，十數人受傷 ^[7] 。 |
| 2012/05/09 | 台中市 | 某工廠因研磨用之砂紙與鎂合金摩擦產生火花，引燃研磨作業場所及某一勞工身上之鎂合金粉末，造成 1 人死亡 ^[4] 。 |

| | | |
|------------|-------------|---|
| 2012/08/05 | 中國浙江省 溫州 | 某工廠疑似鋁門把手於進行拋光過程中，已累積大量之鋁粉塵，遇火源而導致粉塵爆炸，造成 13 人死亡、15 人受傷 ^[8] 。 |
| 2014/04/30 | 美國 | 南加州一家金屬拋光廠的灰塵過度堆積可能導致工作場所爆炸和隨後的火災造成至少 11 人受傷。據事故現場官員稱，至少有兩名男子因火災燒傷而受重傷，這兩名嚴重燒傷的男子被送往當地一家醫院，目前被列為危急狀態，至少有 90% 的身體有 3 級燒傷 ^[9] 。 |
| 2014/08/02 | 中國江蘇 崑山 | 2014 年 8 月 2 日，位於中國大陸崑山中榮工廠，爆炸原因係廠房內空氣中瀰漫製程區拋光研磨作業產生的鋁鎂合金粉塵，於啟動集塵器後，大量粉塵送入集塵器儲桶時遇水氣發生氧化放熱，放熱高溫瞬間引燃懸浮於空氣中之粉塵進而發生嚴重粉塵爆炸，造成了 164 人死亡，114 人受傷 ^[10] |
| 2014/11/01 | 彰化市 | 某一工廠於研磨作業時研磨到含鐵質之自行車鎂鋁合金前叉而產生火花，引燃蓄積於旁之鎂鋁合金粉末，造成粉塵爆炸引起火災，又該爆炸將累積於牆壁之鎂鋁合金粉末揚至空氣中，引起多次爆炸，造成 6 人受傷 ^[4] 。 |
| 2018/05/02 | 彰化縣 | 某工廠因於作業間場域內已瀰漫鎂、鋁粉塵，又因於研磨到含鐵之自行車前叉而產生火花，導致空氣中發生閃燃，造成 1 人死亡、8 人受傷 ^[4] 。 |
| 2021/12/29 | 台中水湳 | 漢翔水湳廠區 8 號棚廠鉗工作業區集塵區上午 10 時 15 分發生粉塵氣爆，當時正進行民用飛機零組件加工研磨，加工過程中產生的金屬粉末，意外引燃造成氣爆起火，消防隊抵達前已自行撲滅。1 死 6 傷 ^[11] 。 |
| 2022/03/01 | 桃園平鎮 | 桃園市平鎮工業區今晚發生火警，佳鎂科技公司廠房發生爆炸，現場囤有大量易燃鎂金屬，不明原因爆炸，火勢迅速四竄，約 300 坪廠房陷入一片火海，現場不時傳出爆炸聲。消防局趕赴現場救援，傳有 1 名員工疑似受困，尚待釐清 ^[12] 。 |
| 2022/03/02 | 桃園新屋 | 桃園市新屋區昨晚（1 日）7 點多發生一起工廠火警，金屬鋁粉閃燃，引發粉塵爆炸起火，3 名在集塵機台前的移工遭受 2 度 60 至 80% 不等的燒燙傷，在醫院救治中 ^[13] 。 |

| | | |
|------------|------------|---|
| 2022/04/05 | 廣東省 清遠市 | 一間鋁業加工廠房於周日發生爆炸，意外共造成4人死亡、1人重傷，當局初步調查顯示意外源於鋁棒在拉鑄過程中，鋁水洩漏到冷卻水池所致，事後已啟動救援應急預案，並進行善後工作 ^[14] 。 |
| 2022/07/25 | 苗栗縣 苑裡鎮 | 苗栗縣苑裡鎮一家磨製腳踏車架的小型加工廠，今天下午3點左右因回收鋁粉管線竄煙，消防人員切割輸送帶、準備用紅土滅火時，疑似有水流進輸送帶，瞬間引發高溫氣爆，有5名消防隊員反應不及被波及，其中3人臉部1到2度的灼傷，送往台中榮總治療，另2名消防員臉部稍為紅腫也送醫檢查，所幸暫無生命危險 ^[15] 。 |

而每次發生金屬拋光作業引發之粉塵爆炸意外，主管機構都僅針對業者有無違反職業安全衛生與消防法規進行裁罰，鮮少有針對事故單位金屬粉末特性進行探究，但若不知引發火災爆炸事件金屬粉末之危害特性，如何找出事件發生之肇因呢？未來又如何採取實際有效之防範措施呢？

俗話說「知己知彼，百戰百勝」，唯有對打磨拋光作業之金屬粉末之火災爆炸特性進行檢測，方能評估出現場作業能引燃金屬粉末和粉塵之可能火源為何？在何種條件下會有火災爆炸之危險？也唯有確實掌握與了解製程中打磨拋光作業之金屬粉末各項火災爆炸特性，方能據此落實現場作業火災爆炸之危害評估，以及後續之安全防範措施之規劃與設置，也能符合勞動部部長提出六安施政理念 —「安穩、安心、安全、安定、安樂、安養」中的安全，真正營造安全之作業環境，保障勞工之安全與健康，營造企業、勞工及政府三贏之局面。

第三章 研究方法

本計畫研究方法及步驟如下述：

一、蒐集國內、外金屬打磨、拋光作業工安事件

俗話說「工欲善其事，必先利其器」，因此；為使計畫執行時能有效率達成前述目標，多方面的對金屬打磨、拋光作業資訊與國內外安全作業規範及標準之蒐集便不可或缺了。本階段作業，首先將針對金屬打磨、拋光相關之作業安全資訊、國內外火災爆炸案例、危害預防相關文獻、電氣安全相關規範、法規等資訊之蒐集與分析，以利本研究後續各階段工作之執行，並提供勞動檢查單位參考。

二、合作廠商選擇

計畫執行單位將對金屬打磨、拋光作業為主要探討對象，首先會與國內檢查單位討論合作對象，並以參酌近幾年該產業職災事件(優先以111年發生粉塵火災爆炸之事業單位為考量)以及業者之配合意願等因素，並依委員建議至少篩選出三家不同金屬(例如鋁、鎂等)合作業者，以利後續工作之執行。本計畫於選定合作廠商之時，除合作業者之意願外，亦將要求業者提供製程中化學品之安全資料表、製程描述、製程流程圖(PFD)、操作條件、工廠配置圖、設計標準規範、安全管理系統、管路及儀器圖

(P&ID)、以往之事故紀錄與調查報告以及緊急應變措施等資訊，以充分瞭解其製程安全資訊。若前述資訊涉及業者製程之商業機密事宜，將與其簽訂保密協定，以保障業者權益。

三、合作廠商現場訪視與輔導

選定合作廠家與製程後，工作團隊除會到至少三家業者進行現場實地之訪視，以了解各製程實際之作業狀況和作業特性，而本研究成員將對各合作製程，每家至少進行兩場次以上(含)之現場訪視和輔導。研究團隊會先和業者相關代表針對所提供之製程資訊進行檢驗與比對之工作，以確保資訊之正確性與完整性，接著對合作廠商之製程進行現場危害辨識、風險評估與風險控制等資訊之蒐集，以利各項潛在危害之找尋如健康危害、現場有無局部排氣、人員穿戴之防護器具、火災爆炸危害防制措施(如防爆電氣、靜電防護以及火星防阻措施等)。以利研究團隊製程之各項危害特性進行分析與了解業者對其製程危害特性之認知程度，更將據此於第二次現場訪視輔導時，給予必要之安全改善建議和輔導。

四、金屬打磨、拋光作業重大火災爆炸事件分析

從案例中不難發現國內、外金屬打磨、拋光引發火災爆炸之肇因具多元性，但都未見明確之金屬粉塵特性來探究災害分析之合理性，如伴隨打磨、拋光作業之火星引發金屬粉體塵爆，或火星引燃局部排氣管中累積粉塵，進而引發塵爆，或粉塵為禁水性物質等等。然在前述種種肇因分析中，都未探討金屬粉塵之火災爆炸特性，像火星溫度(能量)是否足夠引燃粉塵、堆積粉層被引燃是否具延燒性、作業場所中粉塵濃度是否足夠、是否為禁水性物質、是否具靜電危害性等等?基此；建構金屬打磨、拋光作業重大火災爆炸事件分相關災害調查與分析之模式，是有其必要性與需求性的。

申請人擬藉由自身所累積逾30年火災爆炸調查經驗與專業，針對近年來打磨、拋光作業重大（含發生死亡災害）火災爆炸事件，進行深入之災害調查與分析，並藉由現場採集粉體進行各項火災爆炸特性探討，再依據作業條件與環境進行危害分析，最後結合前述種種特性，將引發該事件之原因分析出。此外；本案例之塵爆肇因在推估與分析模式，與過程中所採取之檢測、分析流程與判定參考，可提供相關主管單位未來在面對相關災害案件時，於災害調查中多一項客觀之分析與調查參考機制。

五、金屬粉末火災爆炸特性與安定性檢測與分析

在現場訪視與輔導過程中，將會採集金屬打磨、拋光作業產生之不同金屬（例如鋁、鎂等）粉體並針對所提供之製程資訊進行檢驗與比對之工作，以確保資訊之正確性。接著協助事業單位進行作業現場火災爆炸危害辨識、風險評估與風險控制等資訊之蒐集，並會依作業粉體與環境火災爆炸危害特性進行量測，如粉體之燃燒特性、熱安定性、禁水性、可爆性及靜電危害性等，以利研究團隊製程之各項火災爆炸危害特性進行分析與了解業者對該作業火災爆炸危害特性之認知程度。

六、期中報告撰寫與修正

於期中計畫審查後，針對貴署及審查委員之指教與建議修改期中報告外，並會持續依照計畫流程執行計畫內容。

七、彙整金屬打磨、拋光作業火災爆炸防護之現況與方法

為能更具實務與完整的探究國內目前金屬打磨、拋光作業之火災爆炸防制之設計和設置現況(包括減少靜電產生、火星消彌或淬息 (quenching)、通風換氣、粉塵過濾與收集、靜電消散、危險區域劃分、防爆電氣設置及其他火災爆炸防制方法等),以充分蒐集與瞭解該作業之流程與粉體之火災爆炸特性和現有火災爆炸防護措施等資訊,亦將查閱與蒐集該廠(或同類作業)以往之事故紀錄與調查報告以及該廠緊急應變措施等資訊,以有效分析與蒐集前述具高潛在火災爆炸危害金屬打磨、拋光作業業者,針對減少火災爆炸危害與改善之實際方法與措施,並進而將事業單位防止金屬打磨、拋光作業產生火災爆炸危害之現況與方法彙整出。

除了前述作業產生火災爆炸危害之現況與方法彙整外,亦會對不同金屬(例如鋁、鎂)作業進行安全評估,以及金屬物或電子加工過程中產生的粉塵逸散於環境中可能造成火災爆炸之危害評估。此外職業衛生非申請人的專業,但本案會蒐集金屬加工之健康危害資訊,最後彙整與分析金屬粉塵對職業從事人員健康評估。

八、研擬防止金屬打磨、拋光作業火災爆炸危害之安全改善對策

將針對作業之各項火災爆炸危害性評估合作事業單位現有防止金屬打磨、拋光作業產生火災爆炸危害設施之適當性，除告知合作業者如何正確藉由各項火災爆炸來進行安全防護之合宜評估，同時亦能據此告知那些安全防護措施可在強化作業現場之安全性(如火星消彌或焔息措施、風管材質選用、控制風速建議、靜電安全與消彌(含作業人員、現場設備及地板等)、濕式或乾式粉體過濾與收集系統設置之可宜性、作業現場(含通風換氣與過濾排放系統)及其他火災爆炸預防措施)等。

此外，計畫團隊將會依作業粉體特性與作業環境火災爆炸危害性等等資訊，再結合提出國內外相關法令和規範，研擬包含技術面與管理面上之火災爆炸危害預防與安全改善對策，以便日後金屬打磨、拋光作業在規劃和設置階段，防止火災爆炸危害之安全改善對策時，有所依據和參考。

九、完成金屬打磨、拋光作業之安全衛生查核表

在完成合作廠家現場訪視與輔導會後，工作團隊將針對訪視中所蒐集之製程相關危害辨識、風險評估與風險控制等資訊進行彙整與分析。並將依據各項工作所得到之結果如製程安全資訊、安全衛生相關法規與管理系統、現場量測和訪視各項缺失、業者現場損防控制缺失與風險管理機制（如風險評估、風險控制與風險轉移等），進行彙整、分析與討論，並據此研擬與完成金屬打磨、拋光作業之安全衛生查核表，且相關填寫方法會說明於表中供參考，查核表內容將針對使用者需求分成法規部分及非法規部分，其中法規部分將以我國新修正之職安法為主要依據，將須遵守之各項職業安全衛生法規條款轉化成查核條款，並在其後註明法源依據（如：職業安全衛生法、職業安全衛生設施規則、職業安全衛生法施行細則、職業安全衛生管理辦法、粉塵危害預防標準、勞工作業環境監測實施辦法、NFPA 68:Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting、NFPA 69:Standard on Explosion Prevention Systems及NFPA 484:Standard for Combustible Metals等），以利職安檢查單位之安全衛生查核以及業者法規符合度之自我檢驗。而在風險分析中所找到之危害關鍵因素及國內外相關規範中，我國職安法未規範部分，亦將其以編撰成查核條款，以

利業者對國內外相關安全衛生、損害防阻規範以及製程危害預防和控制措施符合度之檢核，以更全面的提升業者對製程危害預防及控制查核能力和法規符合度之提升。

十、完成金屬打磨、拋光作業安全管理手冊

為使研究成果更具務實性與完整性，研究團隊將依前述所獲得之火災爆炸事件分析結果及各項損害防阻與風險管理機制，據此制定出金屬打磨、拋光作業安全管理手冊，以協助國內金屬打磨、拋光作業建構與強化製程損害防阻與風險管理技術及系統，其能有效的消弭或避免火災爆炸危害之發生或擴大，並能及早與及時改善企業的營運或生產異常所可能引發之風險。

十一、期末報告撰寫與修正

並於期末計畫審查中，對研究所及審查委員之指教與建議，擬於期末審查會後除修改期末報告外，並同步進行「金屬打磨、拋光作業之安全衛生查核表」及「金屬打磨、拋光作業安全管理手冊」之最終修正，以使本研究之各項產出能更務實與完整。

計畫實施流程如下圖所示：

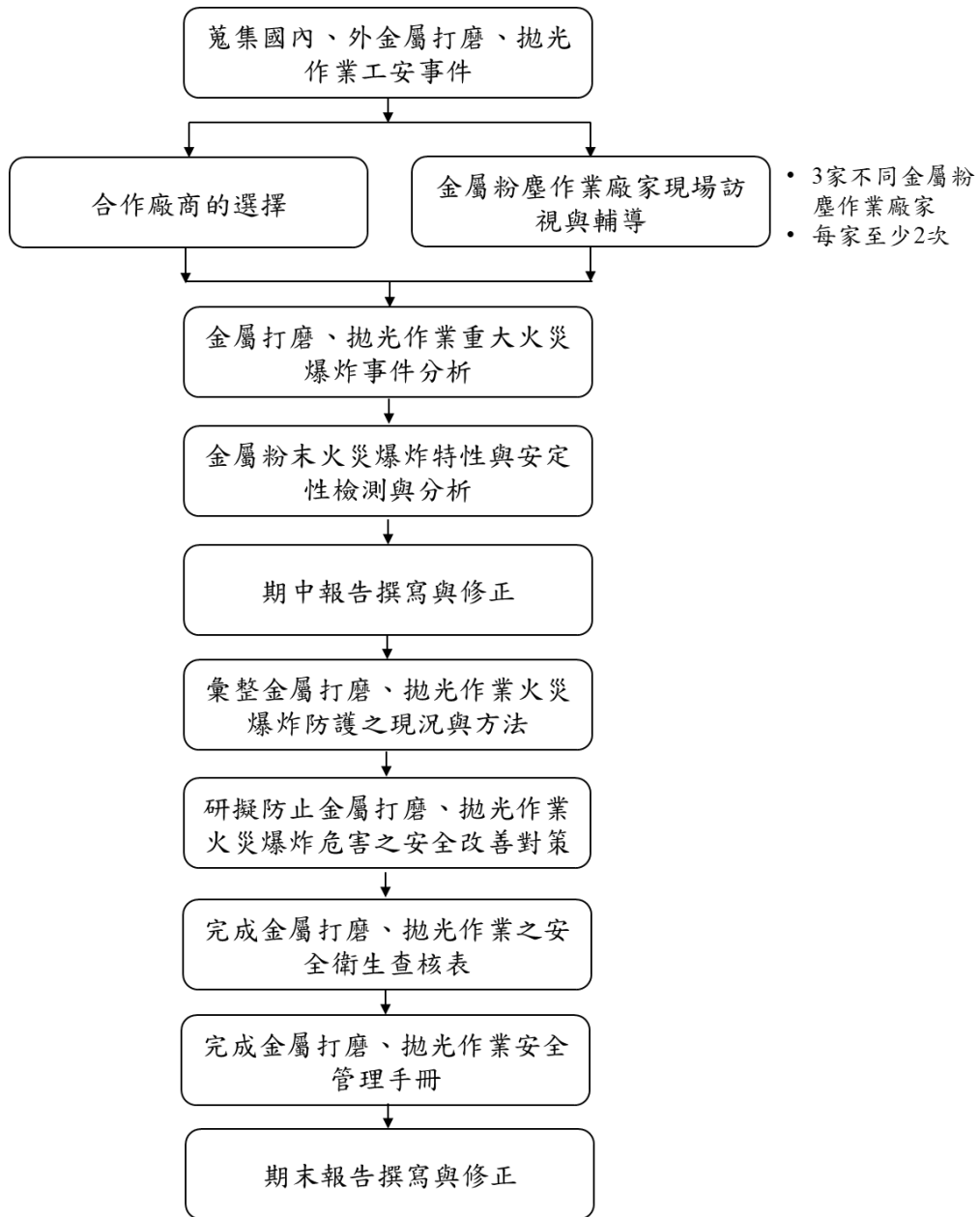


圖 1 計畫實施流程圖

本研究案辦理期間各項預定目標如下：

| 月次 工作項目 | 第一個月 | 第二個月 | 第三個月 | 第四個月 | 第五個月 | 第六個月 | 第七個月 | 第八個月 | 第九個月 | 第十個月 | 第十一個月 | 第十二個月 | 備註 |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------|----|
| 蒐集國內、外金屬打磨、拋光作業工安事件 | ██████████ | | | | | | | | | | | | |
| 合作廠商選擇 | ██████████ | ██████████ | | | | | | | | | | | |
| 合作廠商現場訪視與輔導 | ██████████ | ██████████ | ██████████ | | | | | | | | | | |
| 金屬打磨、拋光作業重大火災爆炸事件分析 | | ██████████ | ██████████ | ██████████ | | | | | | | | | |
| 金屬粉末火災爆炸特性與安定性檢測與分析 | | | ██████████ | ██████████ | ██████████ | | | | | | | | |
| 期中報告撰寫與修正 | | | ██████████ | ██████████ | ██████████ | | | | | | | | |
| 彙整金屬打磨、拋光作業火災爆炸防護之現況與方法 | | | | ██████████ | ██████████ | ██████████ | | | | | | | |
| 研擬防止金屬打磨、拋光作業火災爆炸危害之安全改善對策 | | | | | | ██████████ | ██████████ | ██████████ | | | | | |
| 完成金屬打磨、拋光作業之安全衛生查核表 | | | | | | | ██████████ | ██████████ | ██████████ | | | | |
| 完成金屬打磨、拋光作業安全管理手冊 | | | | | | | | ██████████ | ██████████ | ██████████ | | | |
| 期末報告撰寫與修正 | | | | | | | | | | ██████████ | ██████████ | | |

第四章 研究資料之來源與分析

由經濟部統計處發表產業經濟統計簡訊，指金屬製品業生產技術成熟，並有健全的中上游加工體系，其中，螺絲螺帽、手工具在國際上具高度競爭力，在金融海嘯後，營運指標優於整體製造業，資料顯示，金屬製品業從業人員有 39.3 萬人，僅次於電子零組件業。營業收入為新台幣 1.4 兆元，位居第 3，排行第 1 的電子零組件業，第 2 為化學原材料業，統計處分析，金屬製品業多為中小型工廠，但表現不俗，工廠家數、員工人數及營業收入都持續增長，民國 100 年至 108 年間工廠家數平均成長率為 3.7%、員工人數為 4.5%、營業收入為 2.8%，優於製造業的 1.7%、2%及 0.3%。進一步觀察金屬製品業組成，以金屬加工處理、螺絲螺帽與金屬手工具業為推升成長主要動力，金屬加工處理 108 年營業收入較 99 年增加 479 億最多，平均年成長 1.5%；螺絲、螺帽及鉚釘業產品近年積極朝高值化目標發展，拓展航太、汽車、醫療等中高階技術應用，營業收入增加 468 億元居次，平均年成長 3.7%；金屬手工具業營業收入增加 462 億元，居第 3，平均年成長 5.1%^[1]。

而金屬加工簡稱金工，是一種把金屬物料加工生成獨立零件、組件、或大型結構的工藝技術，金屬加工業為各種產品、用材的上游，主要製造電子與半導體、運輸工具、家電產品及其他五金等相關產品

之基本組件，金屬加工已經從冶煉各種礦石的發現演變而來，生產有用的工具和裝飾用的有韌性和和延展性的金屬。現代金屬加工過程雖然種類繁多和具有專業性，可被分類為成型，切割或連接加工，其中研磨拋光是使工件產生平滑鏡面的超精密研磨技術，其目的在於使表面粗糙度及平坦度到達一定的可容許範圍，常被廣泛的使用在硬脆金屬、陶瓷、玻璃及晶圓等材料表面的精密加工^[2]。

相關研磨與拋光介紹如下所示：

一、 打磨^{[16][17]}

打磨是一種將固體物質化為較小顆粒的單元操作，操作時會不同的物質使用不同的打磨器來研磨，目前在工業生產中應用較多的打磨工具以研磨材料生產的研磨紙、研磨帶、研磨片、研磨液等，而其打磨料以各種不同尺度的顆粒狀存在於各種打磨工具之中，如常見的砂紙、砂輪、磨石、菜瓜布、鑽石膏、金剛砂膏、汽車臘、銅油等。在打磨作用下，機械力克服了固體物質內部的鍵合力，被打磨物質的尺寸、形狀皆會有所改變。

主要目的為增加對象物質的表面積、製造所需尺寸的顆粒，以及提高物質表面光潔度，達到生產和應用的要求。

隨著不斷替換尺度越來越小的打磨料，所磨出的研磨痕的尺度也越來越小，當研磨痕的尺度小到超過人類肉眼所能識別的尺度時，這時素材表面看起來就是平滑的鏡面了。如下圖所示：



圖 2 打磨過程示意圖

二、 拋光^{[18][19]}

拋光技術又稱為鏡面加工，為製造平坦而加工變形層很小，無擦痕的平面加工作業。不僅使工件表面美觀，同時還能改變表面的耐磨性、耐腐蝕性能以及獲得其他特殊性能。

拋光過程與研磨不同，不存在顯著的金屬損耗，如拋光輪高速的旋轉，工件與拋光輪摩擦產生高溫，使工件塑性提高，在拋光力的作用下，金屬表面產生塑性變形，凸起的部分被壓入並產生流動，凹進去的部分被填平，從而使凹凸不平的表面得到改善。

拋光使用物理機械或化學藥品降低物體表面粗糙度的單元操作。主要在精密機械和光學工業中使用。物理拋光是利用細小而堅硬的顆粒物質在被拋光物體表面高速磨耗使其光滑的方法，如用鞋油擦鞋，用牙膏（滑石粉）擦玻璃，砂輪磨床等。

拋光常用的方法有以下幾種：

(一)機械拋光

機械拋光是靠切削、材料表面塑性變形，去掉被拋光的凸部而得到平滑面的拋光方法，一般使用油石條、羊毛輪、砂紙；其中超精研可以實現表面粗糙度（Ra） $0.008\ \mu\text{m}$ 的效果，是各種方法中粗糙度數值比較低的方法。

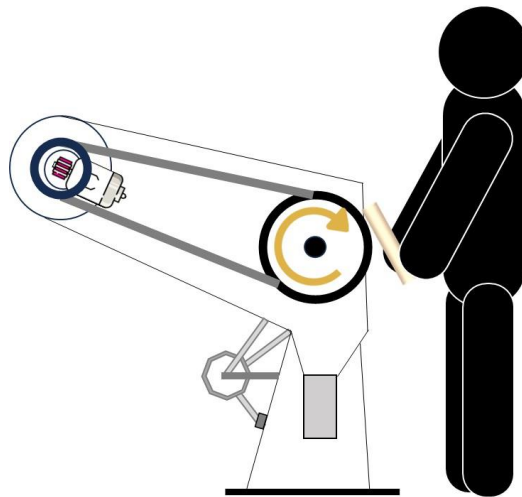


圖 3 機械拋光示意圖

(二)化學拋光

化學拋光是讓工件表面在化學介質中凸出部分較凹進部分先溶解，從而得到平滑面；這種方法的優點是不需要複雜的設備，可以對異形件進行拋光，效率高，但其核心問題是拋光液的配置；一般達到表面粗糙度（Ra） $10\ \mu\text{m}$ 的效果，對環境具有很大的危害。

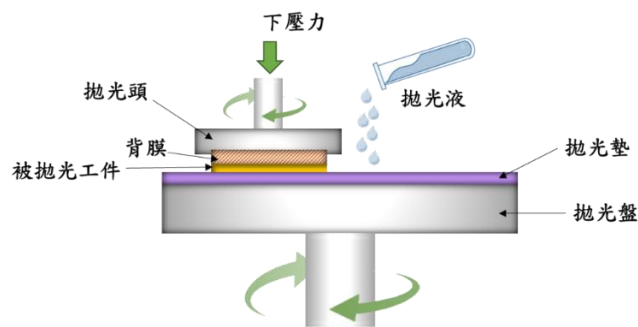


圖 4 化學拋光示意圖

(三)電解拋光

基本原理與化學拋光相同，是以被拋工件為陽極，不溶性金屬為陰極，兩極同時浸入到電解槽中，通以直流電離反應而產生有選擇性的陽極溶解，從而達到工件表面除去細微毛刺和光亮度增大的效果。電解拋光所能達到的表面粗糙度與原始表面粗糙度有關，一般可提高兩級，電解拋光主要用於表面粗糙度小的金屬製品和零件。表面粗糙度（Ra）可小於 1。

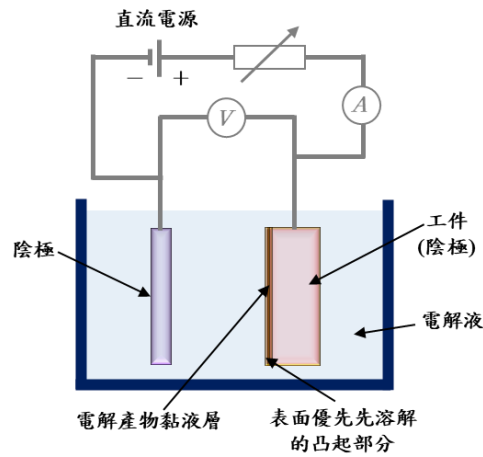


圖 5 電解拋光示意圖

(四)超聲波拋光

超聲波是頻率超過 20 kHz 的彈性波，它波長短，頻率高，具有較強的束射性能，使能量高度集中。超聲波拋光是利用超聲波作為動力，推動細小的磨粒以極高的速度衝擊工件表面，迫使磨料對被加工表面進行加工，從而降低其表面粗糙度的拋光方法。

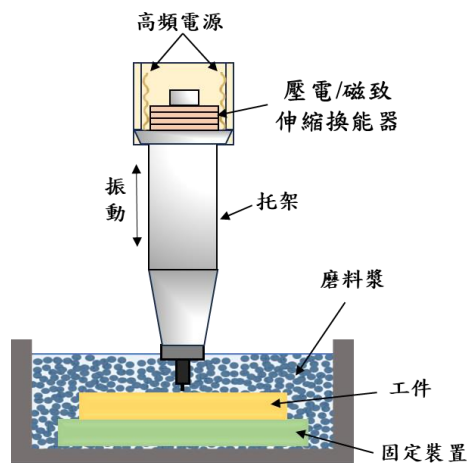


圖 6 超聲波拋光示意圖

(五)流體拋光

是利用高速流動的液體攜帶磨粒，對工件表面進行沖刷大搜鏡面的目的，常用的方法有磨料噴射加工、液體噴射加工、流體動力研磨等。

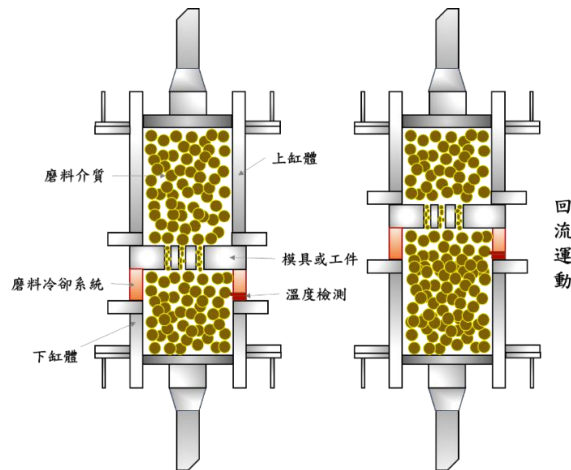


圖 7 流體拋光示意圖

實際上，電解拋光、流體拋光一般很難精確的控制工件的精度，若想要獲得精度比較高的效果還是要採用機械拋光的方法。

由上述打磨、拋光之介紹可得知，研磨作業及部分拋光作業（如機械拋光等）作業過程中，皆會產生金屬粉塵，若遇火源容易引發金屬粉塵爆炸危害。

三、金屬打磨、拋光作業重大火災爆炸事件分析

以國內為例，據統計 106 年迄今鋁合金作業發生火災爆炸之重大職業災害案有 6 起，分別發生在彰化、台中、高雄、桃園等地區，造成勞工 5 死 30 傷之重大傷亡，光近期桃園市就發生 2 起金屬粉塵火災爆炸案，造成 1 死及 5 傷，台中市發生 1 起金屬粉塵火災爆炸案，造成 1 死及 6 傷等悲劇。研究團隊選擇一重大事件，分析事故案例中發生之原因與辨識其他可能之潛在危害，說明如下：

(一) 案例說明

1. 發生地點：臺中市
2. 發生時間：2021 年 12 月 29 日
3. 發生概述：某公司台中工廠，廠內集塵區，上午 10 時許發生粉塵燃燒爆炸，造成 7 位員工灼傷送醫，其中 1 人命危 6 人輕傷。初步調查起火現場為一樓 RC 建築物，起火燃燒的物品為鋁合金與粉塵，廠方事發後立刻疏散人員，並進行滅火。
4. 人員損傷：1 死 6 傷。
5. 財物損失狀況：粉塵作業區牆面損毀。
6. 打磨程序：使用氣動打磨機（材質為氧化鋁砂之砂布環帶及模料材質為陶瓷氧化鋁砂、外徑 2 吋之砂輪片）進行打磨作業。
7. 作業條件：打磨作業與打磨物件本身溫度皆為常溫。

(二) 案例分析

1. 塵爆五要素

可燃物、助燃物及有效火源為大家耳熟能詳之燃燒三要素，但對於粉體而言，若要產生粉塵爆炸，其基本要素為除可燃性粉塵、助燃物及有效火源外，亦須加入局限空間與粉塵雲之產生（被吹揚之粉塵）等二要素，此即為塵爆五要素（如下圖 8 所示）。

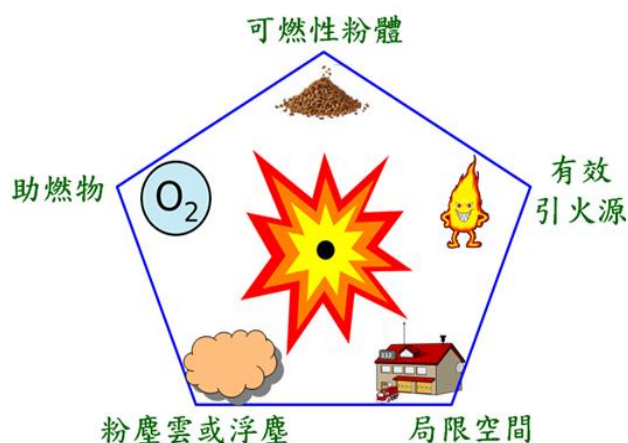


圖 8 塵爆五要素示意圖

在美國國家防火協會（National Fire Protection Association, NFPA）654 中對可燃性粉塵的定義為：任何細微分割的固體物質，其粒徑等於或小於 $420\ \mu\text{m}$ （物質能通過美國編號 40 的標準篩網，篩孔為 $0.0165''$ ($425\ \mu\text{m}$)，絲徑為 $0.28\ \text{mm}$)，當散佈於空氣中並點燃，存有火災或爆炸危害者。

而在美國電工法規（National Electrical Code, NEC）500 中，對可燃性粉塵的定義為：直徑小於 $500\ \mu\text{m}$ 之固體微粒，擴散時會造成火災或爆炸危險者。

2. 打磨作業爆炸失誤樹分析

由塵爆五要素可以推估此事件發生之過程為：首先在局限空間內有可燃性粉塵之存在，接著這些粉塵（部分）被環境或伴隨製程作業或活動產生之氣流將其吹拂起而產生粉塵雲，若其接觸到有效火源及產生爆炸。

而此事件局限空間可能為打磨作業區、通風換氣的管線或是濾桶式集塵室；現場環境可燃性粉體包含風管內、電氣表面、工作桌沉積的粉體；有效火源可能是打磨作業產生之火星、被火星引燃之堆積粉層（風管內）之延燒火焰、不相容著火（如金屬粉體與水起反應）或是其他火源，整個鋁合金打磨作業塵爆失誤樹如下圖 9 所示。

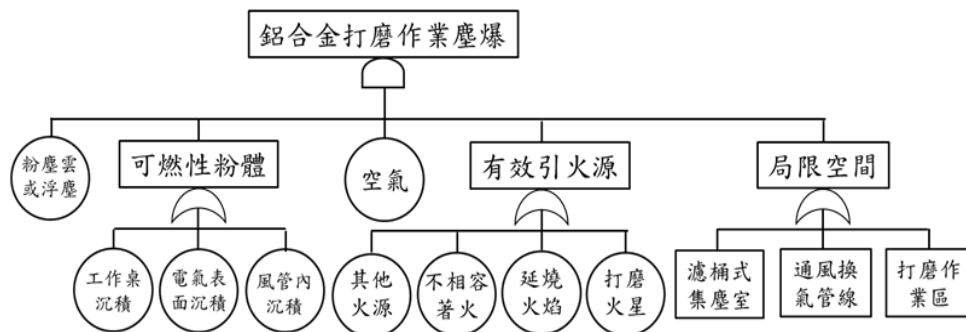


圖 9 鋁合金打磨作業塵爆失誤樹

為了有效釐清事情發生根源，可藉由下列實驗結果來說明與探討前述鋁合金打磨作業爆炸失誤樹分析之有效引火源為何，實驗如下所示。

- (1) 物料與水不相容性試驗：由業者提供及查詢鋁粉相關資料顯示為鋁粉為禁水性物質，而台灣為海島型氣候，平日環境濕度高，若其與水汽接觸可能引發危害，如水接觸會產生自然著火，也有可能產生可燃性氣體（如氫氣）等現象，由於氫氣並不溶於水，故此部分危害可藉由鋁粉與水接觸是否產生發火現象或產生可燃性氣體等進行判定。
- (2) 開放式熱危害分析：測定粉體在開放測試環境中，分別在加水與不加水之條件，在設定之溫升速率加熱下，觀察有無放熱反應，有無易燃氣體或煙塵產生，並藉由點火源與其接觸，了解氣相產物是否具可燃性以及可被引燃之最低環境溫度。
- (3) 粒徑分布測試與分析：藉由集塵器上粉體粒徑分布，瞭解現場鋁合金打磨作業產生粉體粒徑大小，並依厭惡性粉體之定期測定結果，推估打磨作業環境與局部排氣管內之可燃性粉體濃度，再據此估算能否達到塵爆爆炸下限（LEL）之判定。
- (4) 粉體可燃性與燃燒行為測試：粉體遇高溫表面之可燃性與燃燒行為（如：是否會延燒或無火焰熾熱高溫漫延），並根據燃燒行為分級判定準則表判定其粉體遇火燃燒等級，同時並藉此判定火星或熾熱物質，能否為其有效火源。

(5) 粉體導電性量測：依 IEC 要求，易燃易爆粉體需檢測其是否為導電性粉體，因重力因素，伴隨打磨作業產生之浮塵（粉塵雲）最終會沉積在地面或電氣產品上，在電氣漏電狀況，其產生之電流-電阻功率產生的熱（IR-work），可引燃堆積粉塵或引發塵爆。

(6) 水溶液 pH 值量測：將粉體置入中性水中，量測混合液之 pH 值，以瞭解有無引發非放熱形式的反應和 pH 值的變化，以評估其與水接觸之解離安定性與後續之應變器材需求。

3. 打磨作業爆炸失誤樹分析

物料量測各項火災爆炸特性之前先將案例之粉體進行前置處理，接著進行物料與水不相容性試驗、粒徑分布測試與分析、粉體可燃性與燃燒行為測試、粉體電阻率量測及水溶液 pH 值量測。

物料各項火災爆炸特性量測情形與說明如下：

(1) 物料與水不相容性試驗

實驗裝置包含一氣體產生裝置以及一氣體收集裝置（量瓶），利用非水溶氣體（ H_2 氣）特性，將反應產生之氣體通入氣體收集裝置的水中，由於氣體的密度小於水，再加上不容於水之特性，若有氣體產生，其會上升而將收集裝置中的水排出，再由量瓶上之刻度，可得單位重量粉體與水反應可產

生之氣體量。

表 2 打磨區鋁合金粉與水不相容性試驗


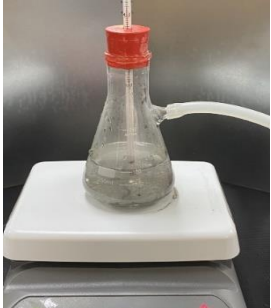


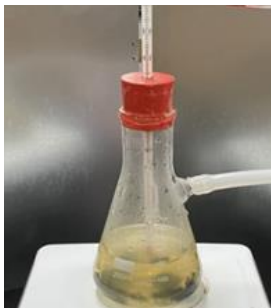

| 打磨區鋁合金粉入料 | 水溶液攪拌 | 觀察有無氣體 |
|---|---|---|
|  |  |  |

表 3 打磨區鋼粉與水不相容性試驗

| 鋼粉入料 | 水溶液攪拌 | 觀察有無氣體 |
|--|--|--|
|  |  |  |

將氣體產生器的送氣管放入試管口中，由於氫氣並不溶於水，因此若有氣體產生則會由橡膠管進入試管內，則可看到氣泡往上升，並試管或量瓶中的水向外排出。從實驗結果發現，鋁合金粉及鋼粉皆無氣泡產生，並未氣體產生，亦即打磨作業所產生之鋁合金粉體與鋼粉與水接觸並無產生氣體或放熱等化學反應。

(2) 開放性熱安定性測試

開放式熱安定性測試為一種熱分析技術，運用開放式熱安定測試儀將樣品加熱，觀察其受熱之反應情形，並透過溫度計紀錄其升溫狀況，再加以分析樣品是否產生放熱反應。實驗過程中，亦會觀察玻璃試管口是否有氣體或煙霧產生，若有則會以高溫表面接觸，觀察是否可將其引燃，參考 VDI 2263 SAV 066。

A. 粉體未與水混合

將案例之粉體分別放置於熱安定測試管內，本實驗由室溫 26°C 加熱至 400°C，當溫度達到約 230°C 時，開始有味道，但看不太到煙，高溫表面接觸後無法將鋁粉及鋼粉點燃，持續加熱至 350°C 以上時，測試管更多煙飄出，再次接觸，發現鋁合金粉可被點燃，而鋼粉不會被點燃，結果如下所示：

表 4 打磨區鋁合金粉開放式熱安定性測試實驗情形對照表(燃燒)





| 溫度 | 打磨區鋁合金粉 | |
|-------|---|---|
| | 接觸前 | 移開後 |
| 380°C |  |  |

表 5 打磨區鋼粉開放式熱安定性測試實驗情形對照表(未燃燒)

| 溫度 | 打磨區鋼粉 | |
|-------|---|---|
| | 接觸前 | 移開後 |
| 357°C |  |  |

B. 粉體熱安定性測試

將鋁合金粉及鋼粉置於熱安定測試管內進行熱安定性分析，數據如下：

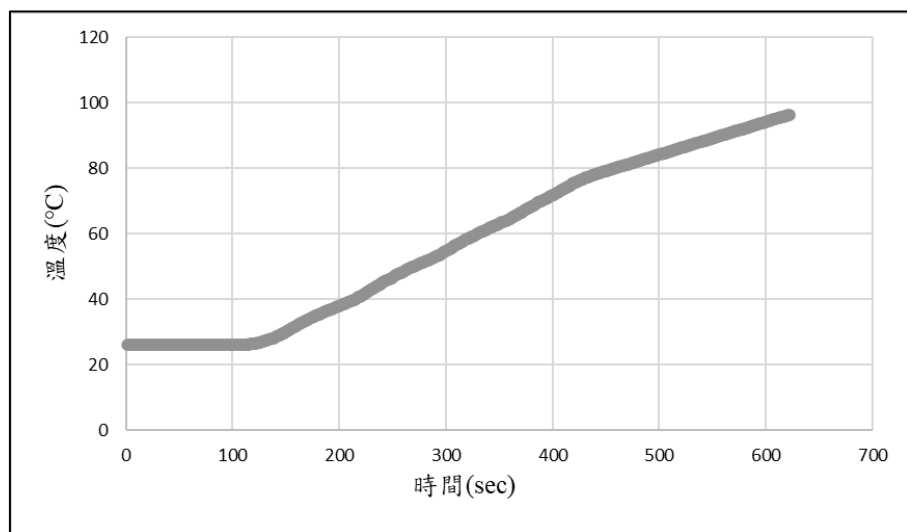


圖 10 打磨區鋁合金粉開放式熱安定性升溫曲線

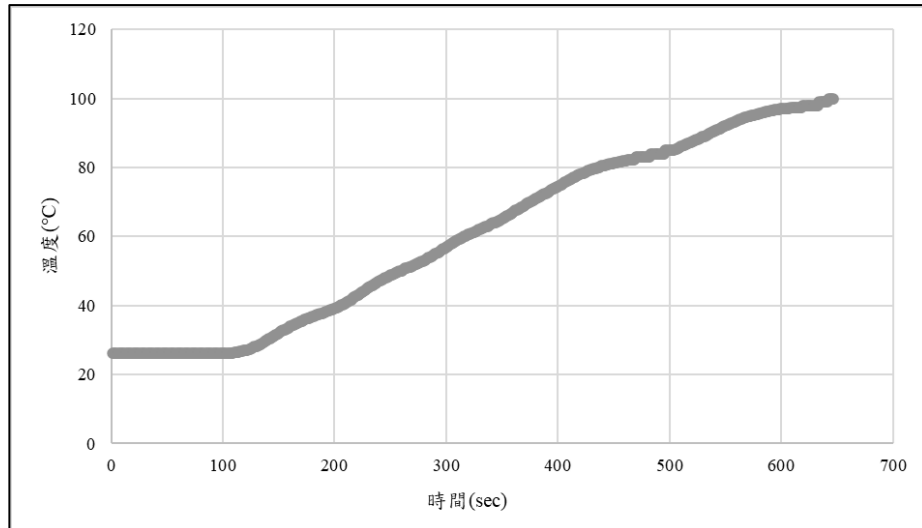


圖 11 打磨區鋼粉開放式熱安定性升溫曲線

C. 粉體與水混合

將案例之粉體各別加入純水放置於熱安定測試管內，由室溫 26°C 為起始溫度，並以 2°C/min 之升溫速率至末溫 100°C 左右為止進行檢測，並利用溫度計連續偵測，數據如下：

樣品：打磨區鋁合金粉(6g)+純水(150mL)

最高測試溫度：100°C

樣品容器：玻璃管

氣體：空氣（開放式）

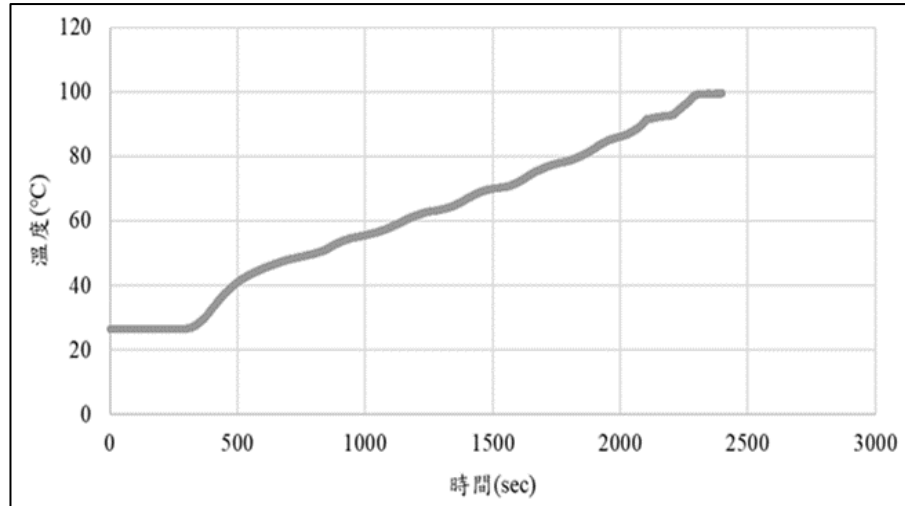


圖 12 打磨區鋁合金粉(加水)開放式熱安定性升溫曲線

樣品：打磨區鋼粉(6g)+純水(150mL)

最高測試溫度：100°C

樣品容器：玻璃管

氣體：空氣（開放式）

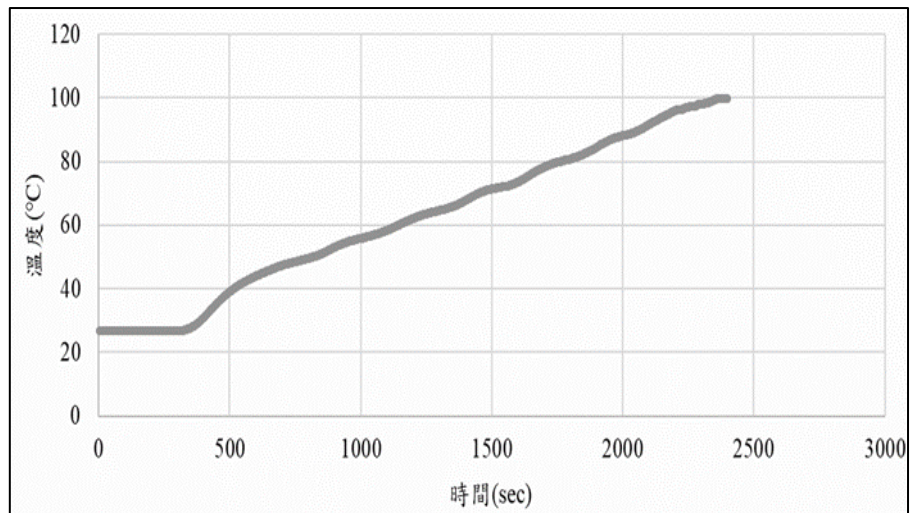


圖 13 打磨區鋼粉(加水)開放式熱安定性升溫曲線

開放性熱安定性測試分為兩個實驗，分別為粉體未加水由室溫加熱至 400°C，以及粉體加水由室溫加熱至 100°C，在開放式環境測試下兩者實驗結果顯示如下：

- a. 鋁合金粉及鋼粉由室溫 26°C 升溫至 400°C 時，雖然無明顯之放熱反應。但鋁合金粉在溫度 350°C 時，會有濃煙飄出，且可被點燃，鋼粉在 400°C 環境下，不會被點燃。從實驗可知，鋁合金粉及鋼粉在 250°C 時，會產生易燃性煙霧(燻煙)，若在通風不良或密閉條件限，遇火源會產生火災爆炸，故該區電氣設備需為防爆型。
- b. 鋁合金粉及鋼粉加水由室溫 26°C 升溫至 100°C 時，並無明顯之放熱反應。由此可知實驗粉體即使在 100°C 水的環境中，不會有放熱反應及發火現象。固可判定鋁合金粉及鋼粉皆非禁水性物質，且不與水反應。

(3) 粒徑分布測試與分析

透過雷射粒徑分析儀進行粒徑分布測試，利用測量雷射通過顆粒時的光能分布，然後反演算推出粒子粒度分布，以瞭解案例之鋁合金粉及鋼粉之粒徑大小，並依此作為塵爆危險程度及作業環境危害的判定，結果如下所示：

表 6 鋁合金粉粒徑分布表

| D10 | D25 | D50 | D75 | D90 |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 14.86 μm | 25.97 μm | 43.97 μm | 67.02 μm | 92.02 μm |

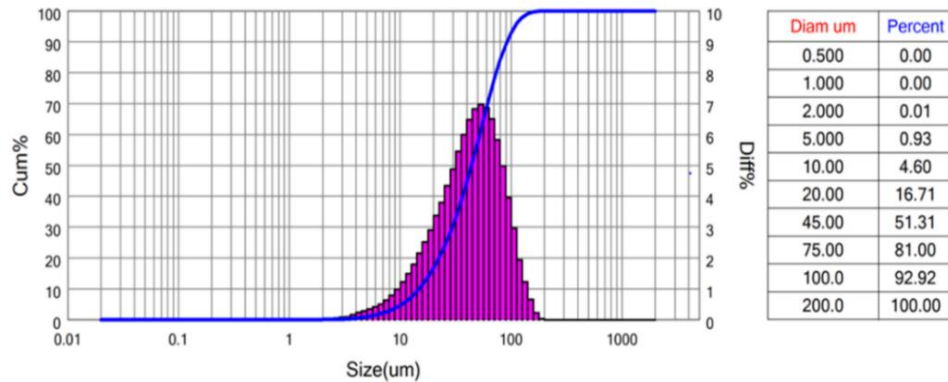


圖 14 打磨區鋁合金粉粒徑分布圖

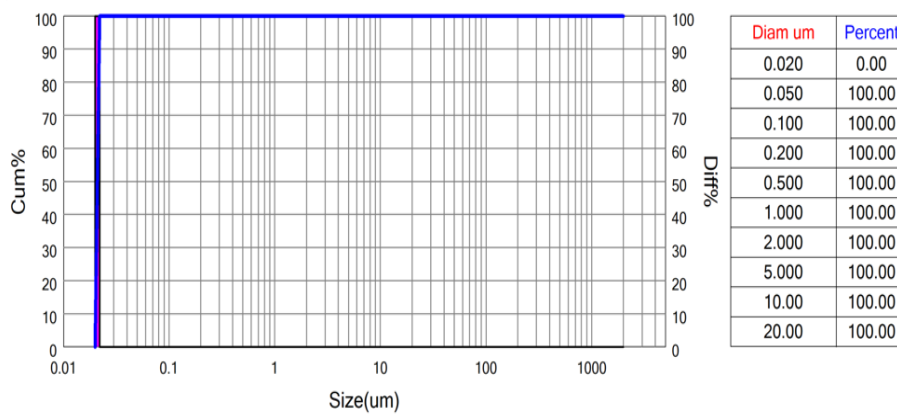


圖 15 打磨區鋼粉粒徑分布圖

粒徑分布測試是採濕式分析，並依據 ISO13320 國際標準進行測定，由結果顯示：

- A. 打磨區鋁合金粉的微粒總量中，累計有 0.93%的顆粒，粒徑小於 5 μm ，累計有 8.24%的顆粒，粒徑小於 10 μm ；有 51.31%的顆粒，粒徑小於 45 μm ；有 92.92%的顆粒，粒徑小於 100 μm 。NFPA654 粉體粒徑 $\leq 420 \mu\text{m}$ ，

NEC500 直徑小於 500 μm 之固體微粒，當散佈於空氣中並點燃，則存有火災或爆炸危害，故當粒徑越來越小，表面積越小，除了更易使其懸浮於空氣中引起粉塵爆炸外，作業過程增加了粉塵火災爆炸的危險性。

B. 粉體此可藉由粒徑小於 5 μm 之比例，再配作業環境厭惡性粉體之定期測定結果（每立方公尺，粒徑 $\leq 5 \mu\text{m}$ 之顆粒數），推估打磨作業環境與局部排氣管內之可燃性粉體濃度，再據此估算能否達到塵爆爆炸下限（30~40 g/m^3 ）之判定。

C. 鋼粉微粒之間具有磁性，微粒表面會有電荷（如下圖所示），故實驗設備無法偵測出粒徑分布。但此磁性相吸之特性卻顯示打磨區鋼粉雖有微粒產生，但會因磁性相吸而形成多孔性打磨區鋼粉糰，由於體積大，不易形成散易於空氣中之粉塵雲，不易構成塵爆所需易燃性浮塵或粉塵雲。



圖 16 打磨區鋼粉照片

(4) 粉體可燃性與燃燒行為測試

針對案例之粉體進行粉堆延燒試驗，依照德國工程師協會（Verein Deutscher Ingenieure，簡稱 VDI）2263 SAV 010 規定粉堆延燒實驗測試時需於高溫的條件下觀察粉體之可燃性與燃燒行為（如：是否會延燒），並根據燃燒行為分級判定準則表判定其粉體遇火燃燒等級，同時並藉此判定火星或熾熱物質，能否為其有效火源，結果下所示：

表 7 打磨區鋁合金粉體燃燒情形

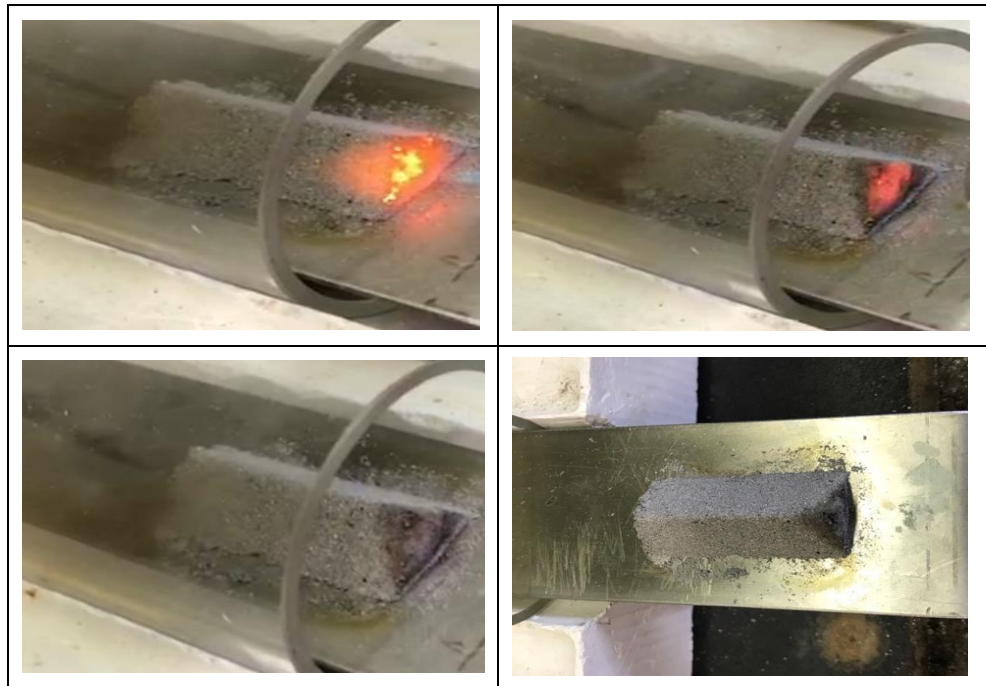
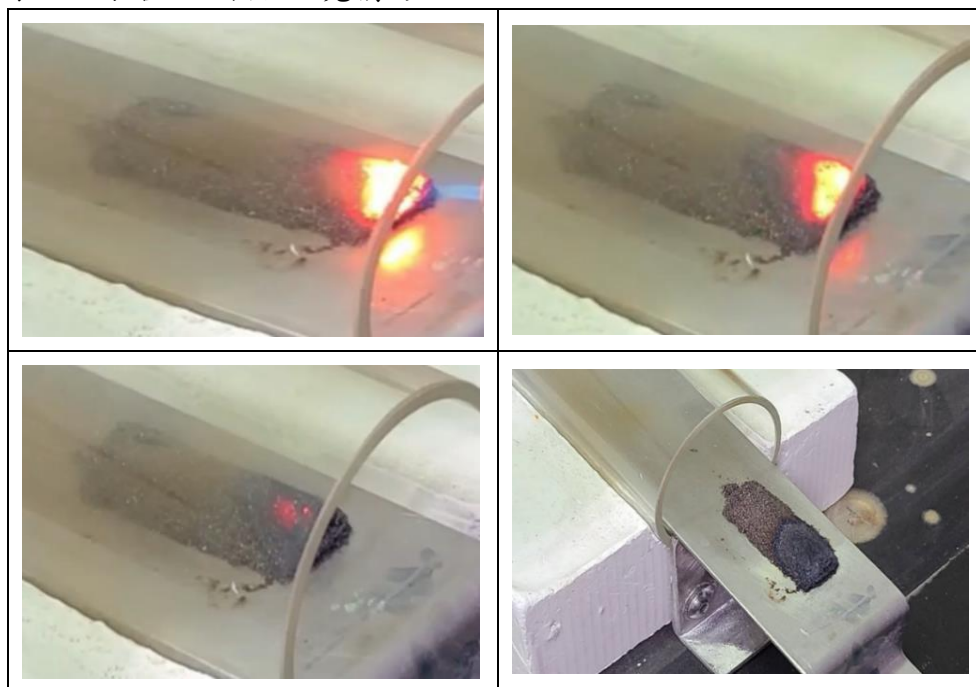


表 8 打磨區鋼粉燃燒情形



討論：

由實驗結果，在持續接觸 5 秒後移開樣品打磨區鋁合金粉及鋼粉使用高溫表面接觸後會產生赤熱現象，但高溫表面移除後並迅速熄滅並無燃燒或悶燒現象發生，依據粉體之燃燒行為分級判定準則，其粉體燃燒行為屬第 3 級。

由粉體可燃性與燃燒行為測試可知，鋁合金粉及鋼粉即使接觸高溫表面不會產生延燒和無焰熾熱高溫漫延之現象，亦即高溫不會引燃粉體，更遑論火星或熾熱物質。

(5) 粉體導電性量測

量測案例之粉體其電阻值，由檢測結果並依據 IEC 之規定判定是屬於絕緣性、消散性或導電性物質，檢測數據如下所示。

表 9 電阻率檢測數據

| 次數 樣品 | <u>1</u> | <u>2</u> | <u>3</u> | 平均 ± 誤差 值 |
|-----------------|--|--|--|--|
| 打磨區 鋁合金 粉 | 6.39×10^2 $\Omega \cdot m$ | 6.39×10^2 $\Omega \cdot m$ | 6.43×10^2 $\Omega \cdot m$ | $6.40 \pm$ $0.018 \times 10^2 \Omega \cdot m$ |
| 打磨區 鋼粉 | 5.18×10^2 $\Omega \cdot m$ | 5.34×10^2 $\Omega \cdot m$ | 5.45×10^2 $\Omega \cdot m$ | $5.32 \pm$ $0.113 \times 10^2 \Omega \cdot m$ |

討論：

由檢測結果得知，鋁合金粉及鋼粉之體積電阻率皆為 $10^2 \Omega \cdot m$ ，依據國際規範屬於導電性粉體，因此該粉體若堆積在電氣產品上，會因漏電使電流通過粉體而導致高溫引燃或引發塵爆。

(6) 水溶液 pH 值量測

將粉體水溶液進行 pH 值量測，以瞭解粉體與水會不會產生解離反應，而造成 pH 值的變化。

表 10 水溶液 pH 值量測數據

| 粉體種類 | 第一次 | 第二次 | 平均 |
|----------|------|------|-------------|
| 空白值 | 6.75 | 6.76 | 6.755±0.005 |
| 打磨區鋁合金粉體 | 6.35 | 6.36 | 6.355±0.005 |
| 打磨區鋼粉體 | 6.06 | 6.06 | 6.06 |

討論：

由檢測結果得知，鋁合金粉及鋼粉與水混合後，皆不會產生解離反應，也無引發非放熱形式的反應。

(7) 粉體浮塵可燃性測試

進行浮塵可燃性實驗時，會將粉末以浮塵方式噴向高溫表面，觀察是否會有火球產生，如下表所示：

表 11 打磨區鋁合金粉體可燃性測試情形

| 粉末噴出後 剛接觸火源 | 燃燒時 | 火球消失 |
|---|--|---|
|  |  |  |

表 12 打磨區鋼粉體可燃性測試情形

| 粉末噴出後 剛接觸火源 | 燃燒時 | 火球消失 |
|---|--|---|
|  |  |  |

討論：

由上述結果發現，所提供之粉體實驗時有火球產生並沿著火焰方向擴大其燃燒範圍之情形，顯示該粉體是具有可燃性質的，因此未來在做進一步之風險評估時，建議依循 ASTM1226-12a 之相關國際標準檢測方式，進一步獲取其火災爆炸之特性值。

4. 災因探討

由塵爆五要素的條件及前述實驗結果探討如下：

- (1) 由近 3 年該廠歷年暴露實態數據分析評估表中，108 年測定結果為 1.67 mg/m^3 ；109 年測定結果為 0.09 mg/m^3 ；110 年測定結果為 0.07 mg/m^3 ，故近三年測定結果皆符合法規要求($\leq 5 \text{ mg/m}^3$)，而最大值為 1.67 mg/m^3 。
- (2) 依國際標準會引發塵爆之粉塵粒徑需 $\leq 500 \mu\text{m}$ ，其最低引爆能量可小於 1 mJ，由粒徑分析測試結果得知粉體 $5 \mu\text{m}$ 以下佔 0.93%，推估現場濃度為 179.6 mg/m^3 ，故打磨作業區與風管皆可判定為非火災爆炸危害區，因粉塵濃度最高約為 0.45%LEL，無法滿足鋁合金粉體塵爆所需之濃度。
- (3) 經由粉體可燃性與燃燒行為測試發現，用 1000°C 高溫表面接觸，粉體被點燃後會自動熄滅並不會產生鋁合金粉堆燃燒或悶燒現象發生，故打磨作業所產生之零星火花不會使風管內堆積之粉塵延燒至集塵器內。

- (4) 實際打磨作業多打磨零件尖角銳邊，產生火花較少，當日有工作人員作業之工作桌，風管距離為 6~12 m，而打磨火花本身是伴隨打磨機轉動研磨產生，其會沿著模具切面噴飛，一旦進入風管會因其慣性圓切流動而碰觸管壁而產生淬熄（quench）降溫現象，而即使在淬熄前碰觸堆積於管壁上之粉塵層，由實驗結果可得知，此種能量與溫度也不會引燃壁上之粉塵層。
- (5) 由前述種種可知，打磨火花可判定非為引發本事件之火源，且打磨作業區與風管內之浮塵濃度亦不足以引發鋁合金粉塵引發塵爆所需之爆炸下限濃度。
- (6) 本次災害事件雖是鋁合金粉塵所導致，但由分析結果此次事件疑似是利用 3 kg/cm^2 的空氣逆沖過濾器，使附著於過濾器外表鋁粉被逆沖吹落，而產生易燃之粉塵雲生成，再配合在鋁合金粉在分離過濾材質產生之剝離帶電產生之靜電放電才導致此次的塵爆之發生。

第五章 研究結果之分析

一、金屬打磨、拋光作業安全與衛生缺失

研究團隊將訪視之A公司、B公司及C公司現場安全與衛生缺失彙整如下所示：

(一)現場少數打磨機未設置托架，作業人員在作業時與研磨輪距

離不足，打磨時鐵削噴濺，可能導致使作業人員受傷。

(二)現場少數打磨輪未設置護蓋，作業人員使用研磨輪側磨，研

磨輪強度不足，運轉時可能會破裂飛射導致使作業人員受傷。

(三)作業現場使用研磨輪/拋光輪等高速轉動之機械設備，作業人

員有捲入、割傷等機械傷害之虞，現場機台應在適當位置設

置明顯標誌之緊急制動裝置。

(四)打磨拋光作業時會產生較大的噪音，作業現場少數作業人員

沒有配戴聽力防護具；可能會造成作業人員噪音性聽力受損。

(五)現場部分打磨、拋光設備未落實接地，建議應確實採取金屬

外殼接地，防止靜電蓄積。

(六)打磨拋光作業時，為使研磨/拋光物件可以穩定固著於工具上，

作業時之振動大部分由作業人員的手部接收，可能會造成作

業人員白指症（Vibration-induced white finger, VWF）；而局

部振動，也會可能導致腕隧道症候群（Carpal tunnel syndrome，

CTS) 的風險上升。

(七) 作業現場少數有長期作業後產生之粉塵大量堆積的情形，建

議應落實 5S (整理、整頓、清掃、清潔與素養) 管理機制。

(八) 在打磨拋光物料的過程中，除了物料本體所產生的粉塵微粒

外，刀具磨損亦會有硬金屬的粉塵出現，可能造成作業人員

有潛在吸入性危害，但現場少數作業人員未落實配戴合宜之

防護器具，長期暴露可能會導致職業性硬金屬肺病 (Hard

metal lung disease)。

(九) 為避免作業環境產生金屬粉塵蓄積，現場皆有設置通風換氣

設備，但部分通風換氣設備未設置差壓計，無法有效監控各

排氣管之有效性。

(十) 現場通風換氣設備之風管採用塑膠軟管，但若有粉塵蓄積且

遇到火源，可能會有擴大火災爆炸危害之風險，建議軟管材

質採用不燃材料。

(十一) 現場有聘僱外籍作業員，現場時僅有中文之相關標示與資訊，

建議作業相關教育訓練、危害標示、操作程序、安全資料表

等應建立外籍作業員能閱讀之版本。

二、金屬粉末火災爆炸特性與安定性檢測與分析






在現場訪視與輔導過程中，將會採集金屬打磨、拋光作業產生之不同金屬（例如鋁、鈦、鐵、鎂等）粉體並針對所提供之製程資訊進行檢驗與比對之工作，以確保資訊之正確性。接著協助事業單位進行作業現場火災爆炸危害辨識、風險評估與風險控制等資訊之蒐集，並會依作業粉體與環境火災爆炸危害特性進行量測，如粉體之燃燒特性、與水不相容性、可爆性及靜電危害性等，以利研究團隊製程之各項火災爆炸危害特性進行分析與了解業者對該作業火災爆炸危害特性之認知程度。

在進行檢測分析前，先了解各業者金屬打磨、拋光實際之作業狀況，並將業者所提供之製程物料與製程資訊進行檢驗與比對之工作，以確保資訊之正確性。將業者提供之製程物料與環境火災爆炸危害特性進行量測，如金屬粉體之與水不相容性測試、燃燒特性及電阻率等，再對製程之各項火災爆炸危害特性進行分析與了解業者對該製程火災爆炸危害特性之認知程度，更將據此檢討事業單位防止作業產生火災爆炸危害設施之適當性。

物料量測各項火災爆炸特性之前團隊會先將粉體進行前置處理，接著進行物料與水不相容試驗、粉體可燃性與燃燒行為測試、粉塵可爆性測試、粉體導電性量測及水溶液pH值量測。

本研究所使用粉體是收集於金屬製品及金屬加工場所中的打磨拋光作業區及切削作業區，相關實驗樣品圖如下：

表 13 粉體試驗樣品

| | |
|---|--|
| <p>鋁粉(環境粉塵) 打磨拋光作業區</p> | <p>鋁粉(集塵機) 打磨拋光作業區</p> |
|  |  |
| <p>鈦合金(集塵機) 打磨拋光作業區</p> | <p>鎂鋁粒 切削作業區</p> |
|  |  |
| <p>鐵粉(集塵機) 打磨拋光作業區</p> | |
|  | |

(一)粉體火災爆炸特性量測與分析

1. 物料與水不相容性試驗

本測試會將粉體加入氣體量測裝置之燒杯中，依據公共危險物品試驗方法將燒杯放入40°C恆溫水槽，最後於燒杯內快速加入40°C純水50 cm³，每隔1小時測定氣體產生量，至少測試5小時，觀察是否會有氣體產生，實驗結果如下所示：

表 14 鋁粉(環境粉塵)與水不相容性試驗




| 倒入鋁粉 (環境粉塵) | 恆溫水槽靜置 | 觀察有無氣體 |
|--|---|--|
|  |  |  |

表 15 鋁粉(集塵機)與水不相容性試驗




| 倒入鋁粉(集塵機) | 恆溫水槽靜置 | 觀察有無氣體 |
|---|--|---|
|  |  |  |

表 16 鈦合金(集塵機)與水不相容性試驗




| 倒入鈦合金 (集塵機) | 恆溫水槽靜置 | 觀察有無氣體 |
|---|--|---|
|  |  |  |

表 17 鎂鋁屑(乾)與水不相容性試驗







| 倒入鎂鋁屑(乾) | 恆溫水槽靜置 | 觀察有無氣體 |
|--|---|--|
|  |  |  |

表 18 鐵粉與水不相容性試驗

| 倒入鐵粉 | 恆溫水槽靜置 | 觀察有無氣體 |
|---|--|---|
|  |  |  |

討論：

從實驗結果發現，鋁粉（環境粉塵）、鋁粉（集塵機）、鈦合金粉（集塵機）、鎂鋁屑（乾）、鐵粉皆無氣泡產生，並未有氣體產生，亦即作業所產生之粉體與水接觸並無產生氣體或放熱等化學反應。

2. 粉體可燃性與燃燒行為測試

粉堆延燒實驗測試時需於高溫表面接觸的條件下觀察粉體之可燃性與燃燒行為（如：是否會延燒），並根據燃燒行為分級判定準則表判定其粉體遇火燃燒等級，此測試分高風速（1.0 m/s）、低風速（0.2 m/s）或是無風速，結果如下所示：

表 19 鋁粉(環境粉塵)燃燒行為測試-無風速




| | |
|---|--|
| 燃燒物質：鋁粉(環境粉塵) 燃燒狀態：無風速 | 高溫表面接觸 |
| |  |
| 高溫表面移除 | 殘留物 |
|  |  |

表 20 鋁粉(環境粉塵)燃燒行為測試-0.2 m/s




| | |
|--|---|
| 燃燒物質：鋁粉(環境粉塵) 燃燒狀態：0.2 m/s | 高溫表面接觸 |
| |  |
| 高溫表面移除 | 殘留物 |
|  |  |

表 21 鋁粉(環境粉塵)燃燒行為測試-1.0 m/s




| | |
|---|--|
| 燃燒物質：鋁粉(環境粉塵) 燃燒狀態：1.0 m/s | 高溫表面接觸 |
| |  |
| 高溫表面移除 | 殘留物 |
|  |  |

表 22 鋁粉(集塵機)燃燒行為測試-無風速




| | |
|--|---|
| 燃燒物質：鋁粉(集塵機) 燃燒狀態：無風速 | 高溫表面接觸 |
| |  |
| 高溫表面移除 | 殘留物 |
|  |  |

表 23 鋁粉(集塵機)燃燒行為測試-0.2 m/s




| | |
|---|--|
| 燃燒物質：鋁粉(集塵機) 燃燒狀態：0.2 m/s | 高溫表面接觸 |
| |  |
| 高溫表面移除 | 殘留物 |
|  |  |

表 24 鋁粉(集塵機)燃燒行為測試-1.0 m/s




| | |
|--|---|
| 燃燒物質：鋁粉(集塵機) 燃燒狀態：1.0 m/s | 高溫表面接觸 |
| |  |
| 高溫表面移除 | 殘留物 |
|  |  |

表 25 鈦合金粉(集塵機)燃燒行為測試-無風速



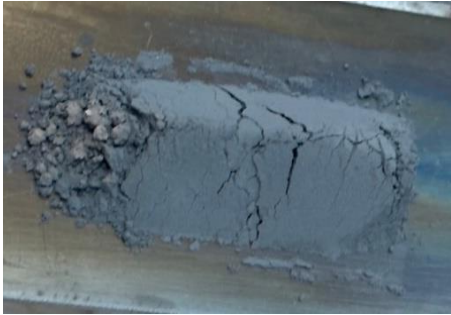
| | |
|---|--|
| 燃燒物質：鈦合金粉(集塵機) 燃燒狀態：無風速 | 高溫表面接觸 |
| |  |
| 高溫表面移除 | 殘留物 |
|  |  |

表 26 鈦合金粉(集塵機)燃燒行為測試-0.2 m/s




| | |
|--|---|
| 燃燒物質： 鈦合金粉(集塵機) 燃燒狀態：0.2 m/s | 高溫表面接觸 |
| |  |
| 高溫表面移除 | 殘留物 |
|  |  |

表 27 鈦合金粉(集塵機)燃燒行為測試-1.0 m/s




| | |
|---|--|
| 燃燒物質： 鈦合金粉(集塵機) 燃燒狀態：1.0 m/s | 高溫表面接觸 |
| |  |
| 高溫表面移除 | 殘留物 |
|  |  |

表 28 鋁鎂合金燃燒行為測試-無風速




| | |
|--|---|
| 燃燒物質：鋁鎂合金 燃燒狀態：無風速 | 高溫表面接觸 |
| |  |
| 高溫表面移除 | 殘留物 |
|  |  |

表 29 鋁鎂合金燃燒行為測試-0.2 m/s




| | |
|---|--|
| 燃燒物質：鋁鎂合金 燃燒狀態：0.2 m/s | 高溫表面接觸 |
| |  |
| 高溫表面移除 | 殘留物 |
|  |  |

表 30 鋁鎂合金燃燒行為測試-1.0 m/s




| | |
|--|---|
| 燃燒物質：鋁鎂合金 燃燒狀態：1.0 m/s | 高溫表面接觸 |
| |  |
| 高溫表面移除 | 殘留物 |
|  |  |

表 31 鐵粉燃燒行為測試-無風速




| | |
|---|--|
| 燃燒物質：鐵粉 燃燒狀態：無風速 | 高溫表面接觸 |
| |  |
| 高溫表面移除 | 殘留物 |
|  |  |

表 32 鐵粉燃燒行為測試-0.2 m/s






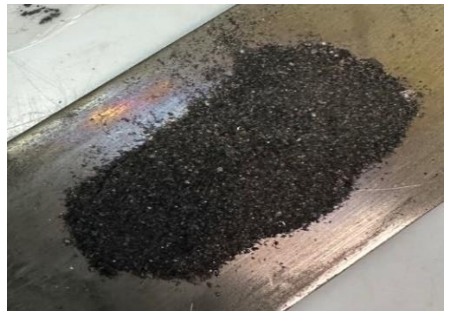
| | |
|--|---|
| 燃燒物質：鐵粉 燃燒狀態：0.2 m/s | 高溫表面接觸 |
| |  |
| 高溫表面移除 | 殘留物 |
|  |  |

表 33 鐵粉燃燒行為測試-1.0 m/s

| | |
|---|--|
| 燃燒物質：鐵粉 燃燒狀態：1.0 m/s | 高溫表面接觸 |
| |  |
| 高溫表面移除 | 殘留物 |
|  |  |

討論：

1. 由實驗結果，不管在高風速(1.0 m/s)、低風速(0.2 m/s)或是無風速的狀態下，鋁粉(環境粉塵)、鋁粉(集塵機)、鈦合金粉(集塵機)及鐵粉在使用高溫接觸5秒後會產生赤熱現象，點燃後會自動迅速熄滅並無燃燒或悶燒現象發生，依據粉體之燃燒行為分級判定準則，燃燒行為屬第3級。
2. 由實驗結果，不管在高風速(1.0 m/s)、低風速(0.2 m/s)或是無風速的狀態下，鎂鋁屑(乾)在使用高溫持續接觸5秒後會像煙火般的燃燒或有火焰的緩慢燃燒，且風速越大燃燒火勢會越大，依據粉體之燃燒行為分級判定準則，燃燒行為屬第5級。

3. 粉體浮塵可燃性測試

進行浮塵可燃性實驗時，會將粉末以浮塵方式噴向高溫表面，觀察是否會有火球產生，如下表所示：

表 34 鋁粉(環境粉塵)粉體可燃性測試情形



| 粉末噴出後 剛接觸火源 | 火球消失 |
|--|---|
|  |  |

表 35 鋁粉(集塵機)粉體可燃性測試情形



| 粉末噴出後 剛接觸火源 | 火球消失 |
|---|--|
|  |  |

表 36 鈦合金(集塵機)粉體可爆性測試情形





| 粉末噴出後 剛接觸火源 | 火球消失 |
|---|--|
|  |  |

表 37 鐵粉(集塵機)粉體可爆性測試情形

| 粉末噴出後 剛接觸火源 | 火球消失 |
|--|---|
|  |  |

討論：

由上述結果發現，所提供之鋁粉、鈦合金粉及鐵粉若為粉堆的方式不易燃燒起來，但若是浮塵之狀態，若遇到火源，則會有火球產生並沿著火焰方向擴大其燃燒範圍之情形，顯示該粉體是具有可爆性質的，因此未來在做進一步之風險評估時，建議依循 ASTM1226-12a 之相關國際標準檢測方式，進一步獲取其火災爆炸之特性值。

(二)粉體導電性量測

將業者所提供之粉體量測其電阻率，由檢測結果並依據IEC 60079-32-1之規定判定是屬於絕緣性、消散性或導電性粉體，檢測數據如下所示：

表 38 鋁粉(環境粉塵)電阻率量測

| 化學品： 鋁粉 (環境粉塵) | 電阻率 | | |
|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 第一組數據 | $1.27 \times 10^5 \Omega \cdot m$ | $1.27 \times 10^5 \Omega \cdot m$ | $1.27 \times 10^5 \Omega \cdot m$ |
| 第二組數據 | $1.27 \times 10^5 \Omega \cdot m$ | $1.27 \times 10^5 \Omega \cdot m$ | $1.27 \times 10^5 \Omega \cdot m$ |
| 第三組數據 | $1.27 \times 10^5 \Omega \cdot m$ | $1.27 \times 10^5 \Omega \cdot m$ | $1.27 \times 10^5 \Omega \cdot m$ |
| 平均±標準差 | $1.27 \times 10^5 \Omega \cdot m$ | | |

表 39 鋁粉(集塵機)電阻率量測

| 化學品： 鋁粉(集塵機) | 電阻率 | | |
|-----------------|---|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 第一組數據 | $1.47 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ | $1.47 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ | $1.47 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ |
| 第二組數據 | $1.47 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ | $1.47 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ | $1.47 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ |
| 第三組數據 | $1.43 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ | $1.43 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ | $1.43 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ |
| 平均±標準差 | $1.46 \pm 0.02 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ | | |

表 40 鈦合金粉(集塵機)電阻率量測

| 化學品： 鈦合金粉 (集塵機) | 電阻率 | | |
|-----------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 第一組數據 | $3.29 \times 10^7 \Omega \cdot m$ | $3.29 \times 10^7 \Omega \cdot m$ | $3.29 \times 10^7 \Omega \cdot m$ |
| 第二組數據 | $3.59 \times 10^7 \Omega \cdot m$ | $3.59 \times 10^7 \Omega \cdot m$ | $3.59 \times 10^7 \Omega \cdot m$ |
| 第三組數據 | $4.42 \times 10^7 \Omega \cdot m$ | $4.42 \times 10^7 \Omega \cdot m$ | $4.42 \times 10^7 \Omega \cdot m$ |
| 平均±標準差 | $3.82 \pm 0.44 \times 10^7 \Omega \cdot m$ | | |

表 41 鎂鋁屑(乾)電阻率量測

| 化學品： 鎂鋁屑(乾) | 電阻率 | | |
|----------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 第一組數據 | $2.38 \times 10^7 \Omega \cdot m$ | $2.38 \times 10^7 \Omega \cdot m$ | $2.38 \times 10^7 \Omega \cdot m$ |
| 第二組數據 | $2.42 \times 10^7 \Omega \cdot m$ | $2.42 \times 10^7 \Omega \cdot m$ | $2.42 \times 10^7 \Omega \cdot m$ |
| 第三組數據 | $2.35 \times 10^7 \Omega \cdot m$ | $2.35 \times 10^7 \Omega \cdot m$ | $2.35 \times 10^7 \Omega \cdot m$ |
| 平均±標準差 | $2.38 \pm 0.03 \times 10^7 \Omega \cdot m$ | | |

表 42 鐵粉電阻率量測

| 化學品：鐵粉 | 電阻率 | | |
|--------|---|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 第一組數據 | $2.60 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ | $2.60 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ | $2.60 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ |
| 第二組數據 | $2.52 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ | $2.52 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ | $2.52 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ |
| 第三組數據 | $2.46 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ | $2.46 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ | $2.46 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ |
| 平均±標準差 | $2.53 \pm 0.06 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ | | |

討論：

由檢測結果得知，鋁粉（環境粉塵）電阻率為 $10^5 \Omega \cdot m$ ，依據國際規範皆屬於導電性粉體。鈦合金粉（集塵機）與鎂鋁屑之電阻率為 $10^7 \Omega \cdot m$ ，依據國際規範皆屬於消散性粉體。而鋁粉（集塵機）與鐵粉之電阻率為 $10^{10} \Omega \cdot m$ ，依據國際規範皆屬於絕緣性粉體。

(三)粉體pH值量測

將粉體水溶液進行pH值量測，以瞭解粉體與水會不會產生解離反應，而造成pH值的變化，結果如下所示：



圖 17 標準液校正(pH 7.0)



圖 18 標準液校正(pH 4.0)

表 43 鋁粉(環境粉塵) pH 值

| 化學品：鋁粉(環境粉塵) | | | |
|--------------|-------------|------|------|
| 第一組數據 | 7.87 | 7.89 | 7.91 |
| 第二組數據 | 7.98 | 8.12 | 8.12 |
| 第三組數據 | 8.12 | 8.13 | 8.15 |
| 平均±標準差 | 8.03 ± 0.04 | | |

表 44 鋁粉(集塵機) pH 值

| 化學品：鋁粉(集塵機) | | | |
|-------------|-------------|------|------|
| 第一組數據 | 7.50 | 7.51 | 7.52 |
| 第二組數據 | 7.36 | 7.39 | 7.52 |
| 第三組數據 | 7.27 | 7.30 | 7.30 |
| 平均±標準差 | 7.41 ± 0.04 | | |

表 45 鈦合金粉(集塵機) pH 值

| 化學品：鈦合金粉(集塵機) | | | |
|---------------|-------------|------|------|
| 第一組數據 | 7.94 | 7.96 | 8.00 |
| 第二組數據 | 7.85 | 7.89 | 7.91 |
| 第三組數據 | 8.02 | 8.04 | 8.05 |
| 平均±標準差 | 7.96 ± 0.02 | | |

表 46 鎂鋁屑(乾) pH 值

| 化學品：鎂鋁屑(乾)+水 | | | |
|--------------|--------------|-------|-------|
| 第一組數據 | 10.33 | 10.36 | 10.37 |
| 第二組數據 | 10.52 | 10.54 | 10.54 |
| 第三組數據 | 10.48 | 10.49 | 10.49 |
| 平均±標準差 | 10.46 ± 0.03 | | |

表 47 鐵粉 pH 值

| 化學品：鐵粉 | | | |
|--------|-------------|------|------|
| 第一組數據 | 8.36 | 8.37 | 8.38 |
| 第二組數據 | 8.81 | 8.82 | 8.82 |
| 第三組數據 | 8.79 | 8.79 | 8.79 |
| 平均±標準差 | 8.66 ± 0.07 | | |

討論：

鋁粉（環境粉塵）、鈦合金粉（集塵機）、鋁粉（集塵機）及鐵粉之 pH 值介於 6~9 之間，而鎂鋁合金含有鎂，鎂屬於鹼土族，故 pH 值為 10.46，皆與水無引發非放熱形式的反應。

三、金屬打磨、拋光作業火災爆炸防護之現況與方法^[20]

金屬打磨、拋光作業時，作業環境存在大量金屬粉塵，遇到火源可能導致火災爆炸危害產生。依據現場訪視觀察，彙整目前金屬打磨、拋光作業火災防護現況如下說明：

- (一) 為避免金屬粉塵因場所的侷限性而蓄積，作業場所會保持通風良好，且有建立動火管制並於明顯處張貼嚴禁煙火標示，以降低發生火災爆炸災害的可能。
- (二) 金屬打磨或拋光作業區域採取濕式控制或設置局部排氣裝置，並將整套設備（含後端集塵設備）確實採取金屬外殼接地，以防止靜電蓄積。
- (三) 視金屬粉塵的類型，依規定劃分危險區域，並設置具有防爆性能之電氣機械、器具或設備。
- (四) 進行金屬打磨、拋光作業前，對勞工施以必要的安全衛生教育訓練，告知金屬粉塵類型，於作業前先行認知其危害性，並採取必要措施。
- (五) 加強宣導5S管理，並定期清理產生的金屬粉塵，避免長期作業後粉塵大量堆積的情形。

金屬打磨、拋光作業時，除了火災爆炸危害，作業環境存在大量金屬粉塵（包括飛濺的金屬顆粒、飛散的金屬粉塵等）、不同強度之噪音及振動危害，皆可能造成作業人員之身體（如臉部、眼睛及手等）、呼吸道及聽力損傷。

(一) 金屬打磨或拋光作業區地面之粉塵，通常以清水定時清洗，防止粉塵飛揚造成作業人員吸入性危害。

(二) 承上述，若為作業檯面上之粉塵，通常以局部排氣設備進行通風換氣並使作業人員配戴防塵口罩，以防止工作檯面上之粉塵飛散導致作業人員吸入性危害。

(三) 為防止作業時之金屬顆粒飛濺造成作業人員眼部損傷，作業人員皆會配戴護目鏡、防護眼鏡等。

(四) 金屬打磨或拋光作業時，機械設備運作會產生強度不同之噪音，可能造成作業人員聽力損傷，作業人員皆會配戴防音防護器具（如耳罩、耳塞等）。

(五) 為防止作業時之振動造成作業人員存在患上手臂振動綜合症（HAVS）的風險，通常以限制作業時間、振動頻率及定期監測作業人員之健康。

四、防止金屬打磨、拋光作業火災爆炸危害之安全改善對策

金屬打磨、拋光作業中容易產生金屬粉塵/揚塵，一旦遇到火源發生爆炸影響範圍廣大，經常造成現場人員傷亡與設備財產損失，為防止發生金屬粉塵爆炸意外，確保勞工作業安全，研究團隊參考美國防火協會的標準NFPA68^[21]《爆燃通風指南》、NFPA69^[22]《防爆系統標準》、NFPA484^[23]《可燃金屬標準》、GB 15577—2007《粉塵防爆安全規程》等規範，針對防止金屬火災爆炸危害之安全改善對策如下說明：

產生粉塵爆炸之基本要素除了可燃性粉塵、助燃物及有效火源外，須有局限空間與粉塵雲之產生（被吹揚之粉塵）等二要素，此即為塵爆五要素。

若要防止粉塵爆炸產生之方法須消除其一或其中幾個條件。由於打磨拋光作業所使用之集塵氣罩、集塵管路、集塵器及廠區皆是受限的空間，而打磨拋光作業系統設置非為完全密閉系統，因此無法控制氧濃度。故可行之安全改善對策為控制可燃性粉塵、防止形成粉塵雲和控制有效火源。

(一) 可燃性粉塵控制及防止形成粉塵雲

1. 濕式打磨與拋光：沒有粉塵就不可能發生粉塵爆炸。徹底消除打磨與拋光粉塵爆炸的方法是濕式打磨拋光。打磨拋光作業在封閉的打磨櫃中由機械手進行，過程中用噴管將混合了切削油的霧化水或水滴不斷噴向被打磨部位。但濕式打磨與拋光要加強廠區通風以排出氫氣。
2. 濕式集塵：採用濕式集塵器可以確保收集到除塵器中的粉塵不會引發粉塵爆炸。由於管道系統和濕式除塵器入口存在乾的粉塵，因此集塵器仍然需要採用洩壓設計。濕式集塵系統的設計應考慮排出集塵器和管道系統的氫氣。
3. 粉塵惰化：由於鋁合金粉塵和鎂合金粉塵的點燃能量特別低，因此粉塵在進入袋式集塵器前可通過自動餵料系統摻入碳酸鈣等惰性粉塵。
4. 粉塵清掃：通過定期清掃和清理控制廠區地面、鋼結構、管道內粉塵的堆積。

5. 確保足夠的集塵能力：鋁鎂金屬打磨與拋光製程特點決定了可燃性粉塵持續產生且懸浮到空氣中。但是通過採用吸塵罩集塵可以降低打磨拋光設備附近的粉塵濃度，使粉塵濃度低於爆炸下限。爲了確保足夠的除塵能力，除塵系統的設計與維護應注意：宜採用濕式集塵器，集塵器應有洩壓設計，並考慮氫氣排放；鋁合金粉塵的管道風速應不低於 23 m/s，鎂合金粉塵的管道風速應不低於 18 m/s；除塵管道應設計檢查清掃口，定期清理管道粉塵。

(二) 控制有效火源

除了打磨本身產生的機械火花，絕大多數點燃源是可避免的。

1. 防爆電氣：鋁鎂金屬打磨拋光作業區應進行粉塵爆炸危險區域劃分，並按區域劃分選用粉塵防爆型電氣設備。
2. 防靜電：打磨拋光設備、被打磨產品、氣罩、集塵管道、集塵器、風機等應等電位連接與接地。作業人員也應接地。不使用不導電的軟連接，應使用金屬軟連接或者防靜電軟管連接。

3. 使用不易產生火花的防爆風扇。
4. 控制明火，訂定動火作業規範。

(三) 降低爆炸損失

1. 建築設計和製程設備設置。打磨、拋光廠區宜為頂部洩壓的單層建築。如為多層建築應採用具有足夠洩壓面積的框架結構。一層以上的樓層應有獨立的逃生通道。製程設備的設置應保證人員能即時疏散。
2. 相對獨立的集塵系統。一個作業區發生著火或爆炸，爆炸火焰會通過集塵管道迅速傳播到同一集塵系統的其他區域。因此，同一集塵系統所帶的打磨、拋光作業區不宜過多（一般不應超過 20 個）。集塵系統之間不應有管道互連。
3. 爆炸洩壓：對於集塵器和管道，最可行的爆炸保護方法是爆炸洩壓。目前的標準要求不應在室內洩壓。
4. 個人防護：作業人員應穿戴阻燃的個人防護器具及佩戴防護眼鏡。

五、金屬打磨、拋光作業之安全衛生查核表

為了更全面的提升業者對製程危害預防及控制查核能力和法規符合度之提升，擬訂了一份安全衛生查核表，內容會依法規所要求之規範來訂定，查核項目包含工作場所安全、電氣危害防止、機械災害防止、火災爆炸防止、噪音危害防止、粉塵危害防止、個人安全防護器具等。本查核表參考國內法規如職業安全衛生法、職業安全衛生設施規則、粉塵危害預防標準、職業安全衛生教育訓練規則等。

相關使用說明如下：

(一)請以金屬打磨、拋光作業實際執行狀況，填寫本表各項查核內容。

(二)本表每一項目都要填寫，若該項目不適用本廠作業，請填NA。

(三)填寫本表人員應為實際參與作業之相關人員。

(四)建議本表每月至少檢查兩次。

表 48 安全衛生檢核表

| 編號 | 項目 | 查核項目 | NA | YES | NO | 備註 |
|----|--------|--|----|-----|----|----|
| 1 | 工作場所安全 | 勞工工作場所之通道、地板、階梯，是否有保持不致使勞工跌倒、滑倒、踩傷等之安全狀態，或採取必要之預防措施？(例如：裝設止滑設施、維持地面清潔、定期檢修及選擇具防滑功能之工作鞋等)(職業安全衛生設施規則第 21 條) | | | | |

| | | | | | | |
|---|--------|--|--|--|--|--|
| | | 設置之安全門及安全梯是否於勞工工作期間內不得上鎖，其通道不得堆置物品？（職業安全衛生設施規則第 27 條） | | | | |
| | | 室內工作場所通道，其主要人行道是否大於一公尺？（職業安全衛生設施規則 31 條） | | | | |
| | | 室內工作場所通道，各機械間或其他設備間通道是否大於八十公分？（職業安全衛生設施規則 31 條） | | | | |
| | | 室內工作場所通道，自路面起算二公尺高度之範圍內是否沒有障礙物？（職業安全衛生設施規則 31 條） | | | | |
| | | 室內工作場所通道，主要人行道及有關安全門、安全梯是否有明顯標示？（職業安全衛生設施規則 31 條） | | | | |
| | | 對於不經常使用之緊急避難用出口、通道或避難器具，是否有標示出其目的，並維持其隨時能應用之狀態？（職業安全衛生設施規則 34 條） | | | | |
| | | 設置於前項出口或通道之門，是否為外開式？（職業安全衛生設施規則 34 條） | | | | |
| 2 | 電氣危害防止 | 使用之電氣器材及電線等，是否符合國家標準規格？（職業安全衛生設施規則第 239 條） | | | | |
| | | 對於電氣機具之帶電部分，如勞工於作業中或通行時，有因接觸（含經由導電體而接觸者）或接近致發生感電之虞者，是否有設防止感電之護圍或絕緣被覆？（職業安全衛生設施規則第 241 條） | | | | |
| | | 使用對地電壓在一百五十伏特以上移動式或攜帶式電動機具，是否裝設防止感電用漏電斷路器。（職業安全衛生設施規則第 243 條） | | | | |
| | | 勞工於作業中或通行時，有接觸絕緣被覆配線或移動電線或電氣機具、設備之虞者，是否有防止絕緣被破壞或老化等致引起感電危害之設施？（職業安全衛生設施規則第 246 條） | | | | |
| | | 對於有發生靜電致傷害勞工之虞之工作機械及其附屬物件，是否於其發生靜電之部份施行接地，使用除電劑、或裝設無引火源之除電裝置等適當設備？（職業安全衛生設施規則第 252 條） | | | | |

| | | | | | | |
|---|--------|--|--|--|--|--|
| | | 與電路無關之任何物件，是否有懸掛或放置於電線或電氣器具？（職業安全衛生設施規則第 275 條） | | | | |
| | | 是否有使用未知或不明規格之工業用電氣器具？（職業安全衛生設施規則第 275 條） | | | | |
| | | 電動機械之操作開關，是否無設置於工作人員須跨越操作之位置？（職業安全衛生設施規則第 275 條） | | | | |
| | | 防止工作人員感電之圍柵、屏障等設備，是否有損壞？（若有應即修補）（職業安全衛生設施規則第 275 條） | | | | |
| | | 作業場所使用電氣設備，應定期檢查電線無破損、龜裂。 | | | | |
| | | 作業場所使用電氣設備與插座連接處無鬆弛不實。 | | | | |
| 3 | 機械災害防止 | 機械之轉軸、齒輪、帶輪、飛輪等有危害勞工之虞之部分，是否有護罩、護圍、套筒、跨橋等設備？（職業安全衛生設施規則第 43 條） | | | | |
| | | 使用動力運轉之機械，具有顯著危險者，是否於適當位置設置有明顯標誌之緊急制動裝置？（職業安全衛生設施規則第 45 條） | | | | |
| | | 對於機械開始運轉有危害勞工之虞者，是否設有固定信號，並指定指揮人員負責指揮？（職業安全衛生設施規則第 54 條） | | | | |
| | | 機械之掃除、上油、檢查、修理或調整有導致危害勞工之虞者是否停止相關機械運轉？（職業安全衛生設施規則第 57 條） | | | | |
| | | 作業場所利用機械設備搬運物料，運輸路線是否妥善規劃，並作標示？ | | | | |
| 4 | 火災爆炸防止 | 易引起火災及爆炸危險之場所，是否有標示嚴禁煙火及禁止無關人員進入，並規定勞工不得使用明火？（職業安全衛生設施規則第 171 條） | | | | |
| | | 工作中遇停電有導致爆炸或火災等危險之虞者，是否裝置足夠容量並能於緊急時供電之發電設備？（職業安全衛生設施規則第 172 條） | | | | |

| | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|
| | <p>設備有因靜電引起爆炸或火災之虞者，是否採取接地、使用除電劑、加濕、使用不致成為發火源之虞之除電裝置或其他去除靜電之裝置？(職業安全衛生設施規則第 175 條)</p> | | | | |
| <p>有可燃性粉塵，致有引起爆炸、火災之虞之工作場所，是否有設置通風換氣設備？(職業安全衛生設施規則第 177 條)</p> | | | | | |
| <p>有可燃性粉塵，致有引起爆炸、火災之虞之工作場所，是否有設置除塵設備？(職業安全衛生設施規則第 177 條)</p> | | | | | |
| <p>對於作業場所所有爆燃性粉塵以外之可燃性粉塵滯留，而有爆炸、火災之虞者，是否有指定專人對於前述濃度，於作業前測定之？(職業安全衛生設施規則第 177 條)</p> | | | | | |
| <p>作業場所所有易燃液體之蒸氣、可燃性氣體或爆燃性粉塵以外之可燃性粉塵滯留，而有爆炸、火災之虞者，除依危險特性採取通風、換氣、除塵等措施外，濃度達爆炸下限值之百分之三十以上時，是否即刻使勞工退避至安全場所，並加強通風？(職業安全衛生設施規則第 177 條)</p> | | | | | |
| <p>對於作業場所所有易燃液體之蒸氣、可燃性氣體或爆燃性粉塵以外之可燃性粉塵滯留，而有爆炸、火災之虞者，對於使用之電氣機械、器具或設備，是否具有適合於其設置場所危險區域劃分使用之防爆性能構造？(職業安全衛生設施規則第 177 條)</p> | | | | | |
| <p>對於所定應有防爆性能構造之電氣機械、器具、設備，於中央主管機關公告後新安裝或換裝者，是否使用符合中央主管機關指定之國家標準、國際標準或團體標準規定之合格品，並張貼認證合格標識？(職業安全衛生設施規則第 177-2 條)</p> | | | | | |

| | | | | | | |
|---|--------|--|--|--|--|--|
| | | 對於存有可燃性粉塵，致有引起爆炸、火災之虞之工作場所，是否有通風、換氣、除塵、去除靜電等必要設施？(註：不得裝置或使用有發生明火、電弧、火花及其他可能引起爆炸、火災危險之機械、器具或設備) (職業安全衛生設施規則第 188 條) | | | | |
| | | 保持緊急遮斷裝置、自動警報裝置或其他安全裝置於異常狀態時是否能有效運轉？(職業安全衛生設施規則第 197 條) | | | | |
| | | 是否使用無火花型工具進行作業？ | | | | |
| | | 作業場所是否禁止吸菸？ | | | | |
| | | 是否有將作業現場可能產生之火源移除？ | | | | |
| 5 | 噪音危害防止 | 勞工噪音暴露工作日八小時日時量平均音壓級 85 dB 以上之作業場所，是否依法每六個月監測噪音一次以上？(勞工作業環境監測實施辦法第 7 條第 1 項第 3 款) | | | | |
| | | 勞工工作場所因機械設備所發生之聲音超過 90 dB 時，是否採取工程控制、減少勞工噪音暴露時間？(職業安全衛生設施規則第 300 條) | | | | |
| | | 工作場所之任何時間暴露於峰值是否超過 140 dB 之衝擊性噪音或 115 dB 之連續性噪音？(職業安全衛生設施規則第 300 條) | | | | |
| | | 對於勞工八小時日時量平均音壓級超過 85 dB 或暴露劑量超過 50%時，是否依法使勞工戴用有效之耳塞、耳罩等防音防護具？(職業安全衛生設施規則第 300 條) | | | | |
| | | 噪音超過 90 dB 之工作場所，是否有標示並公告噪音危害之預防事項，使勞工周知？(職業安全衛生設施規則第 300 條) | | | | |

| | | | | | | |
|---|----------|---|--|--|--|--|
| 6 | 個人安全防護器具 | 勞工於廠內是否配戴安全帽？ | | | | |
| | | 勞工作業時是否配戴防護眼鏡？ | | | | |
| | | 勞工作業時是否配戴防護手套？ | | | | |
| | | 勞工作業時是否配戴聽力防護器具？ | | | | |
| | | 供給勞工使用之個人防護具或防護器具，是否經常檢查，保持其性能，不用時並妥予保存？（職業安全衛生設施規則第 277 條） | | | | |
| | | 供給勞工使用之個人防護具或防護器具，是否準備足夠使用之數量？（註：個人使用之防護具應置備與作業勞工人數相同或以上之數量，並以個人專用為原則）（職業安全衛生設施規則第 277 條） | | | | |
| 7 | 粉塵危害防止 | 供給勞工使用之個人防護具或防護器具，如對勞工有感染疾病之虞時，是否有置備個人專用防護器具，或作預防感染疾病之措施？（職業安全衛生設施規則第 277 條） | | | | |
| | | 對於工作場所內發散粉塵時，是否視其性質，採取密閉設備、局部排氣裝置、整體換氣裝置或以其他方法導入新鮮空氣等適當措施？（職業安全衛生設施規則第 292 條） | | | | |
| | | 勞工暴露於粉塵作業時，其空氣中濃度超過八小時日時量平均容許濃度、短時間時量平均容許濃度或最高容許濃度者，是否改善其作業方法、縮短工作時間或採取其他保護措施？（職業安全衛生設施規則第 292 條） | | | | |
| | | 使勞工從事粉塵作業時，是否使該勞工就其作業有關事項實施檢點？（職業安全衛生管理辦法第 69 條） | | | | |
| | | 局部排氣設備氣罩宜設置於每一粉塵發生源，如採外裝型氣罩者，是否有儘量接近發生源？（粉塵危害預防標準第 15 條） | | | | |

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| | 排氣導管長度宜儘量縮短，肘管數應儘量減少，是否有適當位置開啟易於清掃及測定之清潔口及測定孔？（粉塵危害預防標準第 15 條） | | | | |
| | 局部排氣裝置之排氣機，是否有置於空氣清淨裝置後之位置？（粉塵危害預防標準第 15 條） | | | | |
| | 局部排氣裝置或整體換氣裝置，於粉塵作業時間內，是否持續保持運轉？（粉塵危害預防標準第 16 條） | | | | |
| | 局部排氣裝置或整體換氣裝置，是否置於使排氣或換氣不受阻礙之處，使之有效運轉？（粉塵危害預防標準第 16 條） | | | | |
| | 氣罩、管道及風機是否有磨損、腐蝕、凹凸及其他損害之狀況？ | | | | |
| | 管道或風機是否有粉塵、塵埃聚積狀況？ | | | | |
| | 風機是否有注油潤滑？ | | | | |
| | 管道接合部分之狀況是否良好？ | | | | |
| | 連接電動機與風機之皮帶是否有鬆弛狀況？ | | | | |
| | 設置於排放導管上之採樣設施是否牢固、鏽蝕、損壞、崩塌或其他妨礙作業安全事項？ | | | | |
| | 空氣清淨裝置構造部分是否有磨損、腐蝕及其他損壞之狀況？ | | | | |
| | 除塵裝置內部是否有塵埃堆積？ | | | | |
| | 使用濾布式除塵裝置者，其濾布是否有破損及安裝部分鬆弛之狀況？ | | | | |
| | 室內粉塵作業場所是否至少每日應清掃一次以上？（粉塵危害預防標準第 22 條） | | | | |
| | 一般工業粉塵(如：研磨粉塵、矽粉、一般物料處理等)作業區通風設備管道搬運風速是否達 18-20(m/s)？ （資料來源：ACGIH Manual） | | | | |
| | 重粉塵(如：重粉塵金屬車工、噴砂灰塵、鑽孔粉塵鉛塵等)作業區通風設備管道搬運風速是否達 20-23(m/s)？ （資料來源：ACGIH Manual） | | | | |

| | | | | | | |
|---|----------|--|--|--|--|--|
| 8 | 工作場所管理 | 是否實施工作環境 5S 活動教育訓練及保存相關紀錄？ | | | | |
| | | 對物料之堆放，是否超過堆放地最大安全負荷？(職業安全衛生設施規則第 159 條) | | | | |
| | | 對物料之堆放，是否影響照明？(職業安全衛生設施規則第 159 條) | | | | |
| | | 對物料之堆放，是否妨礙機械設備之操作？(職業安全衛生設施規則第 159 條) | | | | |
| | | 對物料之堆放，是否阻礙交通或出入口？(職業安全衛生設施規則第 159 條) | | | | |
| | | 對物料之堆放，是否影響自動灑水器及火警警報器有效功用？(職業安全衛生設施規則第 159 條) | | | | |
| | | 對物料之堆放，是否妨礙消防器具之緊急使用？(職業安全衛生設施規則第 159 條) | | | | |
| 9 | 勞工衛生教育訓練 | 對粉塵作業主管，是否依規定於事前使其接受有害作業主管之安全衛生教育訓練？(職業安全衛生教育訓練規則第 11 條) | | | | |
| | | 對從事勞工健康服務之護理人員，是否使其接受勞工健康服務護理人員安全衛生教育訓練？(職業安全衛生教育訓練規則第 15 條) | | | | |
| | | 對新僱勞工或在職勞工於變更工作前，是否有使其接受必要之一般安全衛生教育訓練？(註：但其工作環境、工作性質與變更前相當者，不在此限)。(職業安全衛生教育訓練規則第 17 條) | | | | |
| | | 變更工作之勞工是否有實施必要之安全衛生教育訓練並有相關紀錄？(職業安全衛生教育訓練規則第 17 條) | | | | |
| | | 是否將訓練教材、課程表等之訓練計畫、受訓人員名冊、簽到紀錄、課程內容等實施資料保存三年？(職業安全衛生教育訓練規則第 31 條) | | | | |

| | | | | | | |
|----|--------|--|--|--|--|--|
| 10 | 勞工保健保護 | 雇用勞工時，是否施行體格檢查？（職業安全衛生法第 20 條） | | | | |
| | | 對在職勞工是否有施行下列健康檢查？ 一、一般健康檢查。 二、從事特別危害健康作業之特殊健康檢查。 經中央主管機關指定為特定對象及特定項目之健康檢查。（職業安全衛生法第 20 條） | | | | |
| | | 檢查紀錄是否予保存，並負擔健康檢查費用？（職業安全衛生法第 20 條） | | | | |
| | | 實施特殊健康檢查時，是否提供勞工作業內容及暴露情形等作業經歷資料予醫療機構？（職業安全衛生法第 20 條） | | | | |
| | | 是否參照工作場所大小、分布、危險狀況及勞工人數，備置足夠急救藥品及器材，並置合格急救人員辦理急救事宜？（註：但已具有急救功能之醫療保健服務業，不在此限）。（勞工健康保護規則第 15 條） | | | | |
| 11 | 人因危害防止 | 勞工人數超過 100 人時，是否有訂定人因性危害預防計畫？（職業安全衛生設施規則第 324-1 條） | | | | |
| | | 雇主使勞工從事重複性之作業，為避免勞工因姿勢不良、過度施力及作業頻率過高等原因，促發肌肉骨骼疾病，是否分析作業流程、內容及動作並作成執行紀錄並留存三年？（職業安全衛生設施規則第 324-1 條） | | | | |
| | | 雇主使勞工從事重複性之作業，為避免勞工因姿勢不良、過度施力及作業頻率過高等原因，促發肌肉骨骼疾病，是否確認人因性危害因子並作成執行紀錄並留存三年？（職業安全衛生設施規則第 324-1 條） | | | | |
| | | 雇主使勞工從事重複性之作業，為避免勞工因姿勢不良、過度施力及作業頻率過高等原因，促發肌肉骨骼疾病，是否評估、選定改善方法及執行並作成執行紀錄並留存三年？（職業安全衛生設施規則第 324-1 條） | | | | |

| | | | | | | |
|----|----|---|--|--|--|--|
| | | 雇主使勞工從事重複性之作業，為避免勞工因姿勢不良、過度施力及作業頻率過高等原因，促發肌肉骨骼疾病，是否執行成效之評估及改善並作成執行紀錄並留存三年？（職業安全衛生設施規則第324-1條） | | | | |
| | | 勞工每日作業是否超過8小時？（勞動基準法第30條） | | | | |
| | | 勞工每週作業是否超過40小時？（勞動基準法第30條） | | | | |
| | | 勞工連續工作4小時，是否有30分鐘之休息時間？（勞動基準法第35條） | | | | |
| | | 延長工時勞工每日作業是否超過12小時？（勞動基準法第32條） | | | | |
| | | 勞工1個月延長工時總時數是否超過46小時？（勞動基準法第32條） | | | | |
| 12 | 其他 | 若採濕式集塵業者是否設置氫氣檢測器？（可依實際需求設置） | | | | |
| | | 氫氣檢測器警報值是否限制在LFL的10%？ | | | | |
| | | 氫氣檢測器是否設置於溼式集塵設備排氣管？ | | | | |

六、金屬打磨、拋光作業安全管理手冊

本指引參考國內外法規：職業安全衛生法^[24]、職業安全衛生法施行細則^[25]、職業安全衛生設施規則^[26]、職業安全衛生管理辦法^[27]、消防法^[28]、各類場所消防安全設備設置標準^[29]、公共危險物品及可燃性高壓氣體製造儲存處理場所設置標準暨安全管理辦法^[30]、用戶用電設備裝置規則^[31]、National Fire Protection Association (NFPA) 68^[21]、NFPA69^[22]、NFPA484^[23]、International Electrotechnical Commission (IEC 60079-32-1)^[32]、勞動部勞動及職業安全衛生研究所相關著作^[33]等。

(一)目的

金屬打磨、拋光作業過程中，容易產生金屬粉塵（如鋁粉、鎂粉等），由於其具有爆炸特性，一旦發生爆炸事故往往造成難以承受之生命財產損失。因此本技術手冊將作業中常見之粉塵火災爆炸潛在危害並製作安全管理手冊，提供業者辨識與使用，避免或減輕潛在風險，強化災害消滅之作用。

(二)範圍

1. 目的
2. 範圍

3. 風險評估

(1) 危害辨識

(2) 金屬打磨拋光作業風險評估作法

4. 建議量測項目

5. 危害預防指引

(1) 電氣火源

(2) 靜電危害預防

(3) 通風換氣設備

(4) 粉體收集

(5) 電氣危害預防

(6) 切割及振動危害預防

(7) 粉塵危害預防

(8) 噪音危害預防

(9) 消防安全

(三) 風險評估

1. 危害辨識

在進行風險評估前，須先進行危害辨識，本冊利用金屬打磨拋光作業風險危害鑑別檢核表進行危害辨識，並依照所辨識出的危害製作預防指引。

2. 金屬打磨拋光作業風險評估作法

表 49 金屬打磨拋光作業風險危害鑑別檢核表（範例）

| 作業製程單元 | 金屬打磨、拋光作業 |
|--|--|
| <p>潛在火源 <u>熔接/焊接、熱表面、 明火為動火作業時 特別需要注意之火 源。</u></p> | <p> <input checked="" type="checkbox"/> 摩擦火源 <input type="checkbox"/> 失控反應 <input checked="" type="checkbox"/> 熔接/焊接 <input checked="" type="checkbox"/> 自然發火 <input checked="" type="checkbox"/> 電氣火災 <input checked="" type="checkbox"/> 靜電火花 <input type="checkbox"/> 衝擊能量 <input type="checkbox"/> 接觸著火 <input checked="" type="checkbox"/> 熱量累積/蓄積 <input checked="" type="checkbox"/> 熱表面 <input checked="" type="checkbox"/> 明火 <input type="checkbox"/> 不相容 <input type="checkbox"/> 其他 _____ </p> |
| 使用化學品 | 作業輔助液，如研磨液及拋光劑等。 |
| 操作條件 | 溫度： <u>常溫</u> °C 流速： <u>--</u> L/min 壓力： <u>常壓</u> kg/cm ² 轉速： <u>不同機台不一樣</u> rpm 風量： _____ m ³ /min 換氣率： _____ 次/hr 作業時間： <u>不一定</u> hrs /次 |
| 物理性危害 | |
| <input checked="" type="checkbox"/> 機械性傷害 | <input type="checkbox"/> 受撞 <input checked="" type="checkbox"/> 夾傷 <input checked="" type="checkbox"/> 捲入 <input checked="" type="checkbox"/> 切傷 <input checked="" type="checkbox"/> 割傷 <input type="checkbox"/> 輾壓 <input type="checkbox"/> 其他 (_____) |
| <input checked="" type="checkbox"/> 能量性傷害 | <input type="checkbox"/> 墜落 <input type="checkbox"/> 跌傷 <input type="checkbox"/> 陷入 <input type="checkbox"/> 跌倒 <input type="checkbox"/> 扭傷 <input checked="" type="checkbox"/> 振動 <input checked="" type="checkbox"/> 燙傷 <input type="checkbox"/> 凍傷 <input type="checkbox"/> 游離輻射 (<input type="checkbox"/> X-ray、 <input type="checkbox"/> γ-ray、 <input type="checkbox"/> 其他 _____) <input type="checkbox"/> 非游離輻射 (<input type="checkbox"/> 微波、 <input type="checkbox"/> IR、 <input type="checkbox"/> UV、 <input type="checkbox"/> 其他 _____) <input checked="" type="checkbox"/> 感電 (接地電阻 _____ Ω，設備電壓 <u>150</u> V， <input checked="" type="checkbox"/> 有 / 無漏電斷路器) <input type="checkbox"/> 壓力 _____ kg/cm ² <input type="checkbox"/> 其他 (_____) |

| | |
|--|---|
| <p>■生理性傷害</p> | <p><input type="checkbox"/>窒息 <input type="checkbox"/>照明_____lux(米燭光) ■噪音_____dB ■通風(風量_____m³/min、換氣率：_____次/hr) <input type="checkbox"/>其他(_____)</p> |
| <p>人因危害</p> | |
| <p>■肌肉骨骼傷害</p> | <p><input type="checkbox"/>下背痛：<input type="checkbox"/>每日彎腰____，搬運重物_____公斤。 <input type="checkbox"/>勞工有無站立工作。 <input type="checkbox"/>有無使用振動器作業。 <input type="checkbox"/>頸背痛(勞工有無將頸、肩部固定一種姿勢作業。) <input type="checkbox"/>臂部疼痛(勞工有無臂部高於肩膀之作業。) ■手部疼痛(勞工有無過度施力或重複性之手部作業。) <input type="checkbox"/>其他(_____)</p> |
| <p>■肌肉拉傷</p> <p>研磨作業為重複性作業。</p> | <p>■勞工有/無重複性作業。 <input type="checkbox"/>勞工有/無過度失力作業。 <input type="checkbox"/>勞工作業姿勢有無不良。 <input type="checkbox"/>其他(_____)</p> |
| <p><input checked="" type="checkbox"/>休息不足 (疲勞、精神不濟)</p> | <p><input type="checkbox"/>正常工時勞工每日作業有無超過8小時。 <input type="checkbox"/>勞工每週有無超過40小時。 <input type="checkbox"/>勞工連續工作4小時，有無30分鐘之休息。 <input type="checkbox"/>延長工時勞工每日作業有無超過12小時。 <input type="checkbox"/>勞工1個月延長工時總時數不得超過46小時。 <input type="checkbox"/>其他(_____)</p> |
| <p>化學性危害</p> | |
| <p>健康危害/ 毒性危害/ 腐蝕性危害</p> | <p>蒸氣壓：__--__ mmHg，pH：__--__， TWA：__--__ ppm，STEL：__--__ ppm， IDLH：__--__ ppm，Ceiling：__--__ ppm， LC₅₀：__--__，LD₅₀：__--__</p> |
| <p>危害類別</p> | <p><input type="checkbox"/>急毒性 <input type="checkbox"/>致癌性 ■粉塵危害 <input type="checkbox"/>窒息 ■過敏性 ■環境危害 <input type="checkbox"/>腐蝕(化學品危害分類：_____)</p> |

| 物質火災爆炸 | |
|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> 液體(以某家業者之切削油 SDS 內容填寫) | 閃火點：_____ °C，自燃溫度：__--__ °C， 沸點：__--__ °C，爆炸範圍：__--__ %， MIE：__--__ mJ，導電率：__--__ pS/m 熱安定性(<input type="checkbox"/> 開放：__--__ °C； <input type="checkbox"/> 貧氧：__--__ °C)， 爆燃最小需氧量(MOC)：__--__ % |
| | 若有靜電危害應另外測量下列項目： 工作服：__Ω，工作褲：__Ω，鞋子：__Ω，帽子：__Ω， 作業地板：__Ω，導電設備：__Ω，濾袋：__Ω，濾芯：__Ω |
| <input checked="" type="checkbox"/> 粉體 | 閃火點：__--__ °C，熔點：__--__ °C， 燃燒行為(<input checked="" type="checkbox"/> 室溫 3、5 級； <input type="checkbox"/> 乾燥：__級)， 粉塵層著火溫度：__--__ °C，浮塵著火溫度：__--__ °C， 電阻率：最低 10^2 (鎂鋰粒(濕)) 最高 10^{10} (噴砂粉) _____ Ω·m， MIE：__1__ mJ，爆燃最小需氧量(MOC)：__--__ %， 熱安定性(<input type="checkbox"/> 開放：__--__ °C <input type="checkbox"/> 貧氧：__--__ °C) |
| | 若有靜電危害應另外測量下列項目： 工作服：__Ω，工作褲：__Ω，鞋子：__Ω，帽子：__Ω， 作業地板：__Ω，導電設備：__Ω，濾袋：__Ω，濾芯：__Ω |
| <input checked="" type="checkbox"/> 混合物 | 閃火點：_____ °C，自燃溫度：_____ °C， 沸點：_____ °C，爆炸範圍：_____ %， MIE：_____ mJ，電導度：_____ pS/m 熱安定性(<input type="checkbox"/> 開放：_____ °C； <input type="checkbox"/> 貧氧：_____ °C)， 爆燃最小需氧量(MOC)：_____ % |
| | 若有靜電危害應另外測量下列項目： 工作服：__Ω，工作褲：__Ω，鞋子：__Ω，帽子：__Ω， 作業地板：__Ω，導電設備：__Ω，濾袋：__Ω，濾芯：__Ω |
| 潛在危害說明 | |

| | |
|----------------|---|
| <p>■物理性危害</p> | <p>機械性傷害：</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 作業時會使用夾具來夾持工件，夾具使用不當或夾持不穩定可能導致夾傷。 ➢ 旋轉的刀具以及高速旋轉研磨輪引起的捲入、絞傷。 ➢ 刀具和工件之間發生碰撞可能導致刀具受損或折斷，使刀具成為射彈，造成切割傷。 <p>能量性傷害：</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 作業使用之機械設備，在運轉時會產生振動。 ➢ 作業會涉及高溫操作，可能導致作業人員因接觸熱金屬而燙傷。 ➢ 若現場電動機具設備發生漏電時，會使勞工接觸而有感電危害。 <p>生理性傷害：</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 作業使用之機械設備，在運轉時會產生噪音。 ➢ 現場設有通風設備應定期量測其有效性，避免捕抓風速不足而無效。 |
| <p>■人因危害</p> | <p>研磨拋光作業為重複性作業之手部作業，可能會有手部疼痛與肌肉拉傷的潛在危害。</p> |
| <p>■化學性危害</p> | <ul style="list-style-type: none"> ➢ 現場打磨作業過程中會伴隨著粉塵飛揚的，會造成作業人員有粉塵危害、呼吸道過敏之危害，應定期進行環境監測。 |
| <p>■火災爆炸危害</p> | <ul style="list-style-type: none"> ➢ 依據風險評估結果建議針對粉體進行下列特性分析： 粉體：粉塵層著火溫度、浮塵著火溫度、熔點、爆燃最小需氧量（MOC）以及 MIE。 液體：自燃溫度、沸點、爆炸範圍、蒸氣壓、爆燃最小需氧量（MOC）以及 MIE。 ➢ 有靜電危害應另外測量下列項目： 工作服、工作褲、鞋子、帽子、作業地板、現場導電設備、濾袋、濾芯等。 |
| <p>■其他</p> | <p>現場具有火災爆炸危害性，依法應針對該區進行危險區域劃分（含通風換氣之考量），以及作業分險分析、靜電防護計畫、教育訓練。</p> |

使用本指引時可利用製程種類所產生之危害及危害預防方式對照危害鑑別對照表進行使用，使用人須依現場實際作業條件與所適用之規定進行修正。

3. 建議量測項目

為確認金屬之物理化學、火災爆炸及其他相關特性，金屬粉體之建議測定項目如下所示：

- (1) 熱安定性測試：粉體安定性、粉體熱安定性。
- (2) 燃燒行為測試：可燃性、延燒性、悶燒性。
- (3) 著火溫度測試：粉塵層（3 mm）、浮塵自燃溫度（AIT）。
- (4) 靜電特性測試：粉體電阻率、最小點火能量（MIE）。
- (5) 爆炸性測試：可爆性測試、爆燃指數 K_{st} （含 P_{max} 、 dP/dt_{max} ）、限氧濃度（LOC）。
- (6) 與水相容性測試：發火性、禁水性。
- (7) 消防安全測試：氣體（如 N_2 、 CO_2 、Ar、He）、水、乾粉、乾燥砂、膨脹蛭石、珍珠岩。

(四)危害預防指引

1. 電氣火源－防爆電氣設備

金屬打磨、拋光作業易有金屬粉塵產生，若遇火源即可能造成火災爆炸危害，為避免製程中電氣火源造成火災爆炸危害，應依規定使用適當之防爆電氣設備：

(1) 防爆電氣設備應依 CNS 3376 系列標準之規定，委請國外認

可驗證機構或驗證機構認可之檢測實驗室測試後，提具測試報告及相關證明文件，向驗證機構申請驗證。

(2) 對於有爆燃性粉塵存在，而有爆炸、火災之虞之場所，使用之

電氣機械、器具或設備，應具有適合於其設置場所危險區域劃分使用之防爆性能構造，危險區域劃分應依下列規則設置：

(參考職業安全衛生設施規則第 177-1 條及 ATEX 137)

A. 20 區 (Zone 20): 在空氣中之可燃性粉塵雲形成之爆炸性

環境，連續存在、長時間存在或經常存在之場所。

B. 21 區 (Zone 21): 在空氣中之可燃性粉塵雲形成之爆炸性

環境，在正常作業下，有時可能存在之場所。

C. 22 區 (Zone 22): 在空氣中之可燃性粉塵雲形成之爆炸性

環境，在正常作業下，不可能存在，縱使存在亦僅存在短期間之場所。

D. 如爆炸性環境係包含數種易燃性或可燃性氣體、蒸氣、霧滴或粉塵時，應依最大潛在風險，採取防護措施。

(3) 防爆設備本體功能確認

A. 所用具有防爆性能構造之電氣機械、器具、設備，應使用符合中央主管機關指定之國家標準、國際標準或團體標準規定之合格品。(參考職業安全衛生設施規則)

B. 前項合格品，指經中央主管機關認可公告之機構實施型式認證合格，並張貼認證合格標識者。(參考職業安全衛生設施規則)

C. 防爆電氣設備選用與區域分類等級應符合規範。

D. 設備之線路標示資料應完整。

E. 燈具外殼與玻璃和玻璃與金屬之密封墊片或化合物合適。

F. 螺絲、電纜接口設備(直接或間接)和間隔元件之型式需正確且緊密。

G. 法蘭接面應乾淨且無損傷，如有墊片是否合適。

H. 電氣接點連接應緊密。

I. 安全保持器、繼電器和其它限制電能之設備安裝應依據認識之要求且正確之接地。

- J. 防爆設備壓力指示、警報和安全連鎖功能應正常。
- K. 正壓防爆設備之保護性氣體壓力和流量、初期時間應足夠、溫度低於最高值、且無污染。

(4) 維修保養

- A. 防爆電氣設備應有維修保養規劃制度，並建立紀錄且可查。
- B. 防爆電氣設備維修保養人員應經過訓練及資格確認。
- C. 防爆電氣器具應具有抗觸、耐候、耐振等功能，且外表無灰塵累積。
- D. 電氣絕緣體應淨潔與乾燥。

(5) 引起火災及爆炸之危險場所，不得設有火花、電弧或用高溫成為發火源之機械器具或設備。

(6) 引起火災及爆炸之危險場所，應標示嚴禁煙火看板並禁止吸菸，且非相關人員禁止進入。

(7) 在危險氣體或蒸氣場所設施線路時，應依金屬管或電纜裝置法施工。

(8) 金屬管應為厚金屬導管之規格，連接合、接線盒及其他配件應為金屬製之耐壓防爆型。

(9) 如有發生爆炸性粉塵、煙霧或蒸氣之虞者，應設適當通風設備、電動機、風扇機及開關皆採用防爆型。

(10) 電動機應盡可能安裝於室外與作業場所之間，並應有防爆專牆阻隔。

(11) 防爆電氣設備，應每月依下列規定定期實施檢查一次：

- A. 本體有無損傷、變形。
- B. 配管、配線等有無損傷、變形及異常狀況。
- C. 其他保持防爆性能之必要事項。

2. 靜電危害預防

所有粒狀物 (particle) (包括碎片 (chips) 和粉粒 (granule)) 在管線和管道輸送過程中都很容易帶電。尤其在各粒狀物彼此分離良好時 (如在氣動輸送中作業)，更是如此。當帶有電荷之粉體與設備，只有在放電時突然將電荷釋放出，導致局部能量密度過高，並產生可能的著火源時，才會產生危險。

(1) 粉體導電性會根據體積電阻率，分為 3 組：

- A. 低電阻率粉體，體積電阻率 $\rho \leq 1 \text{ M}\Omega\text{m}$ 。
- B. 中等電阻率粉體，體積電阻率 $1 \text{ M}\Omega\text{m} < \rho \leq 10 \text{ G}\Omega\text{m}$ 。
- C. 高電阻率粉體，體積電阻率 $\rho > 10 \text{ G}\Omega\text{m}$ 。

(2) 帶電粉體和設備可以產生多種類型的放電，放電形式如下：

- A. 火花放電：通常可以藉由儲存的能量與所探討可燃粉末的 MIE 之比較來評估火花放電的著火性。可透過設備中所有導電組件接地、導電性產品以及人員的接地，來避免火花放電的發生。
- B. 刷光放電：目前得知，若沒有可燃氣體或蒸氣供給的條件下，僅藉由可燃性粉體之 MIE 是無法被刷光放電所引燃。在處理大量中等或高電阻率粉末時，無法避免電刷放電。
- C. 在有粉塵存在作業場所，當用絕緣塑料器具處理現場污染物(例如溶劑，油脂或濕氣)時，可能會引發著火之潛在危害。
- D. 處理含溶劑之濕粉末時應小心，因為它們可長時間的釋出 MIE 比純粉末低得多易燃蒸氣。在此作業環境性下，不應僅考量粉體危害，而應有更務實考量 MIE 是否小於 1 mJ 之機制。
- E. 電暈放電：處理大量中等或非導電粉體時會產生電暈放電。但電暈放電不會點燃可燃性粉體。

- F. 傳遞刷光放電：可以計算傳遞刷光放電所釋放的能量，通常會超過 1 J。
 - G. 錐狀放電：當高度帶電的粉體裝入容器時，可能會發生錐狀放電，也可能點燃易燃氣體和蒸氣以及可燃性粉體。
 - H. 類閃電狀放電：儘管在理論上可行，但在工業操作中尚未觀察到這種放電。
- (3) 粉體研磨作業粉體電荷累積質量電荷密度為 1 to 0.1 ($\mu\text{C}/\text{kg}$)。
- (4) 降低粉體製程作業產生之電荷累積，可以採取下列預防措施：
- A. 用接地導電設備代替絕緣設備。
 - B. 粉體增濕。
 - C. 電離。
 - D. 減少物料的細粉數量。
 - E. 避免大量堆積粉體。
- (5) 現場作業人員應落實穿戴有效導引靜電之防護器具，如抗靜電衣、抗靜電鞋、導電手腕等。其應通過國內外靜電安全單位之檢測。

- A. 防靜電服裝標準建議電阻應為 $1.0 \times 10^5 \sim 1.0 \times 10^{11} \Omega$ (參考 ESD S1.1)
- B. 手套穿戴狀況下標準建議之電阻應為 $7.5 \times 10^5 \sim 1 \times 10^{12} \Omega$ (參考 IEC61340)
- C. 腕帶接地導線兩端標準建議電阻應為 $0.8 \times 10^6 \Omega \sim 1.2 \times 10^6 \Omega$ ($1M \pm 20\%$) (參考 ESD S1.1)
- D. 防靜電鞋環之分類 (參考 ESD DS9.2)

表 50 防靜電鞋環之分類

| 種類 | 應用 | 電阻值(Ω) |
|----|-------------|--|
| A | 標準型 | $8.0 \times 10^5 \sim 3.5 \times 10^7$ |
| B | 特殊應用 (高電阻型) | $3.5 \times 10^7 \sim 1.0 \times 10^9$ |
| C | 特殊應用 (低電阻型) | $< 8.0 \times 10^5$ |

- (6) 作業環境地板應使用導電性良好之地板，其電阻值 $1 \times 10^4 \sim 10^6 \Omega$ 。(參考 ANSI ESD.S71)
- (7) 作業環境地板應使用導電性良好之地板，其電阻建議值應其接地電阻應為 $7.5 \times 10^5 \Omega < R < 1.0 \times 10^9 \Omega$ ，表面電阻為 $R < 1.0 \times 10^{10} \Omega$ (參考 IEC61340)

- (8) 粉體卸料相關金屬設備其電阻應小於 $10\ \Omega$ ，且所有設施皆應落實接地，其接地電阻應依中華民國電工法規設置。
(參考電工法)
- (9) 應定期對作業區內區之對人員、地板、以及作業單元與管線進行電阻之監測，並對粉體作業時間測其靜電場量值，以有效評估靜電消除之效度。
- (10) 人體有足夠低的體積電阻率作為導體，如果接地絕緣，造成累積靜電電荷，如果人體絕緣狀態，可以累積靜電電荷，電荷由接觸電氣化而產生，如在絕緣地板上行走，或觸摸金屬或通電設備，可能因為衣服上的電荷或相鄰的帶電物體上而產生電荷。(參考 BS5958)
- (11) 人員和接地之間的安全總電阻在 $5 \times 10^4\ \Omega \sim 10^8\ \Omega$ ，且摩擦所產生之電壓應為 100V 以下。(參考 BS5958)
- (12) 無論是防靜電或抗靜電的鞋類的抵抗性上升到 $10^8\ \Omega$ 時，就應考慮換新。(參考 BS5958)
- (13) 防靜電鞋分為靜電導電鞋 ($R < 1 \times 10^5\ \Omega$) 及靜電消散鞋 ($1 \times 10^5\ \Omega \leq R < 1 \times 10^8\ \Omega$)。(參考 IEC 61340-4-3)

3. 通風換氣設備

- (1) 作業場所若為常有人作業之環境，則應採有效之通風換氣措施，避免環境中浮塵之產生。若浮塵之濃度達爆炸下限值之百分之三十以上時，應即刻使勞工退避至安全場所，並停止使用煙火及其他為點火源之虞之機具，並應加強通風。(參考職業安全衛生法施行細則)
- (2) 氣罩應設置於每一粉塵發生源，應盡量接近粉塵發生源。
- (3) 局部排氣裝置或整體換氣裝置，於粉塵作業時，不得停止運轉。
- (4) 應盡量縮短導管長度、減少彎曲數目，且應於適當處所設置易於清掃之清潔口與測定孔。
- (5) 設置於局部排氣裝置內之空氣清淨裝置，應每年定期實施檢查一次：
 - A. 構造部分之磨損、腐蝕及其他損壞之狀況及程度。
 - B. 除塵裝置內部塵埃堆積之狀況。
 - C. 濾布式除塵裝置者，有濾布之破損及安裝部分鬆弛之狀況。
- (6) 局部排氣裝置或除塵裝置應於開始使用、拆卸、改裝或修理時，實施重點檢查。

表 51 局部排氣裝置及吹吸型換氣裝置重點檢查紀錄表

| | | | |
|---------------|-------|----------------------------|--|
| 檢查日期 | 年 月 日 | 檢查人員 | |
| 檢查場所 | | 檢查方法 | |
| 項目 | | 檢查結果 | |
| 導管及排氣機粉塵之聚積狀況 | | | |
| 導管接觸部分之狀況 | | | |
| 吸氣及排氣之能力 | | 應標明每一測定位置，記錄氣罩外側、導管內之風速及風量 | |
| 其他保持性能之必要措施 | | | |
| 備註 | | | |

- (7) 重點檢查如發現異常時應及加以整補，並依規定記錄及保存三年。
- (8) 局部排氣裝置及吹吸型換氣裝置每年應定期實施自動檢查。

表 52 局部排氣裝置及吹吸型換氣裝置自動檢查紀錄表

| | | | |
|-------------------------------|-------|----------------------------|--|
| 檢查日期 | 年 月 日 | 檢查人員 | |
| 檢查場所 | | 檢查方法 | |
| 項目 | | 檢查結果 | |
| 氣罩、導管及排氣機之磨損、腐蝕、凹凸及其他損害之狀況及程度 | | | |
| 導管或排氣機之塵埃聚積狀況 | | | |
| 排氣機之注油潤滑狀況 | | 應標明每一測定位置，記錄氣罩外側、導管內之風速及風量 | |
| 導管接觸部分之狀況 | | | |
| 連接電動機與排氣機之皮帶之鬆弛狀況 | | | |
| 吸氣及排氣之能力 | | 應標明每一測定位置，記錄氣罩外側、導管內之風速及風量 | |
| 其他保持性能之必要措施 | | | |
| 備註 | | | |

(9) 設置於排放導管上之採樣設施是否牢固、腐蝕、損壞、崩塌。

(10) 局部排氣裝置應每年定期實施自動檢查。

(11) 自動檢查與重點檢查應依規定紀錄及保存三年。

4. 粉塵收集

(1) 集塵

用於機械加工、製造、精密加工、機械輸送、增材製造和其他易燃金屬粉塵產生操作的集塵系統，包括可燃金屬粉末生產作業的粉末輸送和收集應符合下列要求：

- 粉末的氣動輸送
- 乾式空氣分離器 (AMS) 的要求
- 濕式空氣分離器 (AMS) 的要求

A. 一般要求

- a. 所有集塵系統之安裝應符合 NFPA 91。
- b. 當用於處理可燃顆粒固體時，應由熟悉系統及其相關危害之合格人員監督設計和安裝。
- c. 集塵系統之設計和維護應確保使用的空氣/氣體速度可於正常操作模式下，保持所有管道或管道的內表面無積聚所需的最小值。
- d. 對收集材料的限制：粉塵收集系統不得用於收集不相容材料或可能與輸送之金屬粉塵或顆粒發生反應的其他材料。
 - (a) 禁止收集系統設計以外的任何金屬。

(b) 若要收集其他材料，應先進行變更管理(MOC)，
且須評估是否提高製程風險之潛在危害。

e. 操作

(a) 操作程序：集塵系統的設計應符合下列的操作邏輯、順序和時序。

● 啟動：集塵系統應在啟動時，材料在進入系統之前達到其設計風速，並應持續維持此風速。

● 關機：

➤ 集塵系統應確保在正常停機時，系統能維持設計風量，直到將管道中的物料清除乾淨。

➤ 上述要求不適用於系統緊急關閉期間，如通過啟動緊急停止按鈕或通過啟動自動安全聯鎖裝置。

(b) 在每個集塵點，系統的設計風速應達到能收集、控制或抑制粉塵源所需的最低風量。

(c) 每個粉塵源的氣罩或集塵點應有根據系統設計文件記錄的最低風量要求。

- (d) 在確認整個系統能夠維持所需且平衡的氣流之前，不得對現有系統進行分支管道的增加。
- (e) 所有粉塵源（即罩）應僅使用錐形主設計連接。
- (f) 在正常操作條件下，從產生火花、高溫物料或類似點火源的作業中移除物料的粉塵收集系統，應使用濕式空氣分離器（AMS），並應根據 NFPA 69 提供爆燃隔離，以防止相互連接的設備之間的火災傳播。
- (g) 系統選用的集塵設備的設計應考慮到可燃粉塵從空氣或氣流中分離出來的特性。
- (h) 通風設備（Air-moving devices）應具有適當的類型和足夠的容量，以維持系統各部分所需的空氣/氣體流速。
- (i) 用於控制 AMS、AMD、監控設備或其組合運行的控制台和相關設備應安裝在不受 AMS 爆燃波及的安全位置。
- (j) 根據 NFPA 69 中通過可燃濃度降低方法防止爆燃，正常運行條件下通風管路系統的粉塵累積量應保持在最低爆炸濃度（MEC）以下。

- f. 乾式空氣分離器和上游工作站應標有銘牌，列出系統設計收集的可燃金屬粉塵的類型，並標示可見警告標籤，說明收集其他材料可能會引起火災或爆炸。
- g. 乾式空氣分離器銘牌應包括以下資訊：
- 集塵器收集的金屬。
 - 集塵器可收集粉塵的最大 P_{max} 和 K_{st} 。
 - 集塵器能收集的粉塵的最小點燃能量的最低值。
 - 在使用過濾介質的情況下，必須使用的過濾器規格。

B. 具體要求

- a. 防止靜電放電。
- (a) 等電位連接和接地
- 除塵系統的所有組件都應獨立於電氣接地系統進行等電位連接和接地，以盡量減少靜電荷的積累。
 - 應至少每年一次測量並記錄集塵系統連接和接地的有效性。

b. 導管系統和可撓連接件

- (a) 所有導管和導管系統均應由金屬或不可燃導電材料製成。
- (b) 導管應盡可能短、彎道少。
- (c) 在輸送導管暴露於室外或濕氣的地方，應防潮、防曬及密封。
- (d) 軟管和柔性連接長度應是為了達到使用目的而必需的最小長度。
- (e) 所有軟管和可撓性接頭均應具導電性、消散性或以其他方式正確連接/接地，以防止靜電荷累積。
- (f) 打磨作業不應與拋光作業使用相同之集塵系統。

c. 乾式空氣分離器（AMS）要求

- (a) 乾式過濾介質 AMS 不得用於收集空氣中 Kst 大於 150 bar-m/s 的金屬粉塵或用於鈮、鉭、鈦、鋳和鉛，除非粉塵危害分析（DHA）之結果為主管機關可接受之。
- (b) 介質集塵器（Media dust collectors）應配備以下所有火災預防措施：

- 當粉塵 MIE 小於 1,000 mJ 時，過濾介質應該具有靜電消散功能並且有效地與導電性過濾框架接地。
- 過濾介質上的積聚物應限制在低於任何氧化性自熱點火和與潮濕空氣的放熱反應而可能發生的任何著火閾值以下。這些閾值應作為粉塵收集粉塵危害分析(DHA)的一部分根據 NFPA484 第 7 章進行確定。
- 作業期間應通過降壓或等效傳感器監測累積值；如果累積超過預定限制，則應控制收集器和關閉粉塵產生設備。
- 定期檢查和更換介質之間隔時間，應根據過濾介質降壓或檢測設備指示執行。

(c) 維護保養

- 如果需要對乾式 AMS 進行維修，則在進行維修之前，應清空 AMS 並徹底清除殘留積聚物。
- 在開始維修工作之前，進入 AMS 的管道應該被斷開並封閉。

(d) 旋風分離器結構

- 旋風乾式 AMS 應具有導電、不會產生火花的結構，適合預期的使用目的。
- 金屬旋風乾式 AMS 應該具有連續焊接並具有光滑的內部接縫。

(e) 要求監測溫度

- 乾式 AMS 應設置記錄表面溫度之儀表設備。
- 應包含高溫警報或警示裝置，設定限制溫度應低於過濾介質的最高使用溫度或低於粉塵的熱表面點火溫度的 50°C (122°F)。
- 規定的裝置應在有人監控處發出聲音和視覺警報。

(f) 過濾介質特性。

- 筒式過濾器不得與自燃金屬粉塵一起使用。
- 過濾介質不得與收集的粉塵發生化學反應，包括與可燃金屬粉塵流中的任何污染物產生的反應。

(g) 收集的材料。

- 收集器的排放容器應在達到容器儲存容量的 100%之前及時清空。

- 應至少每天清理一次收集器中的粉塵，如果情況需要，則應更頻繁地進行清理。
- 在清理收集器時，應採取預防措施，避免產生粉塵雲。
- 清理後的粉塵應根據相關法規或標準進行回收或處置。
- 粉塵應排放到金屬容器中，金屬容器應及時蓋緊，以避免產生散逸之揚塵。

d. 濕式空氣材料分離器（AMS）要求

- (a) 排氣口應排至建築物外的安全位置並緊固固定，除非下列第 3 點中另有規定。
- (b) 不允許將清潔空氣返回到已確定具有爆燃危害之危險區域。
- (c) 當進行的測試證明收集器的效率足夠，在清潔過的空氣中的微粒物質和工作區域中的微粒物質和氫積聚方面，能夠為人員和財產在特定安裝中提供安全時，清潔後的空氣可以返回室內工作區域。
- (d) 排氣管應盡可能短而直，並應設計能夠承受與濕式粉塵收集器相同的爆炸壓力。

- (e) 應按要求檢查和清潔 AMS 的出口部分和排氣管，以防止可燃金屬粉塵在內部表面積聚堆積。
- (f) 濕式 AMS 在正常運行期間應達到或超過可燃粉塵收集的設計效率。
- (g) 不允許在下游使用額外的乾式過濾介質或與濕式收集器結合使用。
- (h) 在需要滿足工業衛生暴露的情況下，當乾式過濾具備以下所有條件時，允許其位於濕式收集器下游：
- 在該區域張貼警告牌，警告使用乾式過濾可能存在的危險。
 - 差壓報警裝置。
 - 靜電或導電性過濾媒體。
 - 將氫氣累積限制在 LFL 的 10% 的方法。
 - 過濾介質溫度超過限制時的高溫警報裝置。
- (i) 操作保障

- 粉塵生產設備的電源應與排風機的驅動電機和濕式粉塵收集系統的液位、液體供應速率控制器，或兩者都進行聯鎖，以確保系統會在檢測到不正確的系統功能時關閉其服務的設備。
- 應在產塵設備上設置延時開關或等效裝置，以防止在濕 AMS 和 AMD 完全運行之前啟動。
- 應提供聯鎖裝置以防止濕式 AMS 運行，除非保持水箱容量和供水。
- AMS 應由導電材料或靜電消散材料製成。

(2) 粉末的氣動輸送

A. 氣動輸送系統的管道系統。

- a. 輸送管道應採用與運輸金屬相容且具防火特性的金屬材料。
- b. 不應使用塑膠或其他非導電管道或管道襯裡。
- c. 應對管道進行電氣連接和接地，以減少靜電荷的積累。
- d. 在輸送管道暴露於天氣或潮濕的地方，應具有防潮性。

- e. 整個輸送系統應保持最低輸送速度，以防止灰塵在任何一點積聚，並收集在系統意外停機期間可能掉落的任何灰塵或粉末。
- f. 如果存在爆炸危險，應在管道系統上提供爆炸防護措施，例如爆破隔膜。
- g. 洩爆口應釋放到建築物外的安全位置。
 - (a) 如果設有洩爆口，則應標示洩爆口區內的區域。
 - (b) 可以使用 NFPA 68 計算洩爆口排放面積。
 - (c) 在管道設有洩爆口的情況下，洩爆口關閉處應清楚地標記如：警告：爆炸安全裝置。
 - (d) 爆炸隔離系統可有效防止爆炸傳播至製程的其他部分，因此，不需要對具有 NFPA 69 認可的爆炸隔離系統的管道進行洩爆口。
- h. 每當管道系統破裂可能導致其他財產損失或人員受傷，或者洩爆口不能提供足夠的壓力釋放時，管道系統應根據 NFPA 69 第 13 章進行設計。
- i. 如果管道系統的一部分位於其爆裂不會造成財產損失或人員傷害的位置，則該部分應允許採用輕型結構以有意失效，從而作為輔助洩爆口系統。

- B. 使用惰性介質輸送。
- a. 如果按照 NFPA 69 設計，應允許使用惰性氣體輸送系統。
 - b. 使用的惰性氣體不得與特定金屬發生反應。
 - c. 惰性氣體流中的氧氣濃度應低於符合 NFPA 69 的特定氣體的限制氧濃度 (LOC)。
 - d. 除非輸送的材料將不會在未來處理中暴露於空氣中，否則惰性氣體流中應保留低於 LOC 的殘留氧氣閾值。
 - e. 應根據 NFPA 69 監測惰性氣流中的氧氣濃度。
 - f. 惰性氣體的露點應該使得在系統的任何地方都不會有凝結或積聚的自由水分。
 - g. 如果輸送氣體在相對溫暖的環境被引入到系統中，並且管道和收集器相對較冷，則管道和收集器應該進行絕緣或提供加熱，以使氣體溫度不會下降到露點以下，從而引起凝結。
 - h. 整個輸送系統應保持最低輸送速度，以防止灰塵在任何一點積聚，並收集系統意外停機期間掉落的任何灰塵或粉末。

C. 風扇和鼓風機的構造和佈置

- a. 風扇和鼓風機應符合 NFPA 484 10.6.2 的要求。
- b. 風扇或鼓風機運行時，人員不得進入 15 m(50 英尺)範圍內逗留，但以下情況除外：
 - (a) 如果人員在風扇運行時接近風扇或鼓風機進行壓力測試，該測試應在經有能力的技術人員直接監督、經營管理層知情並批准的情況下進行，並且在可燃金屬粉末的流動被切斷。
 - (b) 在可燃金屬粉末輸送系統惰性的情況下，應允許人員距離風扇或鼓風機的距離小於 15 米（50 英尺）。
- c. 風機在停機前不得進行維護。
- d. 風扇或鼓風機應位於所有製造廠房外，並且應該放置在能最大程度減少風扇排氣進入建築物的位置。

(3) 粉末收集

A. 收集器。

- a. 乾式集熱器應位於室外安全位置，並應為人員提供屏障或其他保護措施。

b. 收集器周圍區域應張貼如下標誌：

注意：此集塵器可能含有可爆炸性粉塵。在設備運行期間請勿進入標記區域內。

(a) 如果集塵器設有洩爆口，則應標記洩爆口的排放區域。

(b) 應允許使用 NFPA 68 確定洩爆口排放面積。

(c) 如果集塵器設有洩爆口，洩爆口關閉應清楚地標記如：警告：爆炸安全裝置

c. 集塵器應由具有靜電消散能力的金屬材料製成。

d. 管道系統應符合 NFPA 484 11.5.1 的規定。

e. 整個收集系統，包括集塵器，應完全連接並接地，以盡量減少靜電荷的累積。

f. 禁止將粉末集塵器中回收的空氣送入建築物內。

g. 如果存在爆炸危險，乾式收集器應設有洩爆口。

(a) 在選擇洩爆口或集塵器薄弱部分的類型和位置時應格外小心，以最小化人員傷害和附近設備或結構的爆炸損壞。

(b) 如果集塵器設有洩爆口，則應標洩爆口孔排放區域。

- (c) 應允許使用 NFPA 68 確定洩爆口排放面積。
- (d) 洩爆口的位置應放置在不朝向任何可燃或易碎結構的方向。
- (e) 洩爆口關閉應清楚地標記如：警告：爆炸安全裝置。

B. 修理

- a. 如果需要對乾式集塵器進行維修，集塵器應清空並徹底清除殘留的堆積物。
- b. 在允許開始修復工作之前，應斷開收塵器進入的管道並用阻塞件進行隔離。

C. 高溫警告

- a. 旋風分離器或其他乾式集塵器應配備記錄表面溫度的儀器。
- b. 應包括過熱警報或警報裝置，其限制設置應低於濾料的最大使用溫度或低於粉塵雲的點燃溫度的 50° C (122°F)，以較低者為準。
- c. 上述中規定的裝置應在通常有人監控處的位置聲音和視覺警報。

D. 集塵器過濾材質不得使用會累積靜電荷的合成織物製成的收集器過濾介質。

5. 電氣危害預防

- (1) 對於電氣機具之帶電部分，如勞工於作業中或通行時，有因接觸或接近致發生感電之虞者，應設防止感電之護圍或絕緣被覆。
- (2) 使用對地電壓在一百五十伏特以上電動機具，為防止因漏電而生感電危害，應於各該電動機具之連接電路上設置適合其規格，具有高敏感度、高速型，能確實動作之防止感電用漏電斷路器。
- (3) 使用之電氣器材及電線等，應符國家標準規格，禁止使用未知或不明規格之工業用電氣具。
- (4) 不得於通路上使用臨時配線或移動電線，如無法避免需於通路上使用臨時配線或移動電線，應有妥善防護使車輛或其他物體通過該配線或移動電線時不致損傷其絕緣被覆。
- (5) 電動機械之操作開關，不得設置於工作人員須跨越操作之位置。
- (6) 防止工作人員感電之圍柵、屏障等設備，如發現有損壞，應即修補。

- (7) 作業人員於作業中或通行時，有接觸絕緣被覆配線或移動電線或電氣機具、設備之虞者，應有防止絕緣被破壞或老化等致引起感電危害之設施。
- (8) 雇主應依其規模置勞工安全衛生人員。
- (9) 雇主對於易產生非導電性及非燃燒性塵埃之工作場所，其電氣機械器具，應裝於具有防塵效果之箱內，或使用防塵型器具，以免塵垢堆積影響正常散熱，造成用電設備之燒損。

6. 切割及振動危害預防

- (1) 配帶適當的防護裝備如防割手套、護眼罩。
- (2) 工作時間全程佩戴防塵口罩。
- (3) 以手持刀具進行切割時，建議揮動刀具方向應遠離身體之方向。
- (4) 以手持刀具進行作業時，禁止人員進入作業範圍。
- (5) 勞工如受到割傷應立即停工，並清洗消毒傷口預防感染。
- (6) 勞工在工作前，要接受適於工作必要之安全衛生教育訓練。

- (7) 訂定勞工安全衛生管理計畫，執行工作環境或作業危害之辨識、評估及控制。
- (8) 訂定自動檢查計畫，實施自動檢查。
- (9) 物料加工時，應於加工機械上設置護罩或護圍。
- (10) 建立合理勞動制度，堅持工間休息及定期輪換工作制度，以利各器官系統功能的恢復。
- (11) 堅持就業前體檢，凡患有就業禁忌症者，不能從事該做作業。
- (12) 定期對工作人員進行體檢，儘早發現受振動損傷的作業人員，採取適當預防措施及時治療振動病患者。
- (13) 在地板及設備地基採取隔振措施(如橡膠減振動層、軟木減振動墊層、玻璃纖維氈減振墊層、複合式隔振裝置)。
- (14) 改進振動設備與工具，降低振動強度，或減少手持振動工具的重量，以減輕肌肉負荷和靜力緊張等。

7. 粉塵危害預防

金屬打磨、拋光作業中會產生粉塵危害，為避免粉塵造成人員健康上之危害或導致火災爆炸之風險，應施行下列預防措施：

- (1) 雇主對從事特定粉塵作業以外之粉塵作業之室內作業場所，為防止粉塵發散，應設置整體換氣裝置或具同等以上性能之設備。
- (2) 雇主應公告粉塵作業場所禁止飲食或吸菸，並揭示於明顯易見之處所。
- (3) 臨時性作業、作業時間短暫或作業期間短暫，應供給勞工使用適當之呼吸防護器具。
- (4) 雇主設置之密閉設備、局部排氣裝置或整體換氣裝置，應由專業人員妥為規劃設計，並維持其性能。
- (5) 局部排氣設備（含除塵裝置），應每半年至一年定期檢查一次。
- (6) 雇主使勞工從事粉塵作業時，對粉塵作業場所實施通風設備運轉狀況、勞工作業情形、空氣流通效果及粉塵狀況等隨時確認，並採取必要措施。
- (7) 應每日施行清掃保持環境整潔，以防止粉塵飛揚。
- (8) 應實施粉塵特殊體格檢查、健康檢查，紀錄應保存三十年。
- (9) 依法令規定施以預防災害所必要之安全衛生教育訓練。
- (10) 應派遣具有粉塵危害預防知識（粉塵作業主管）之人員從事監督管理工作。

(11) 建議佩戴個人防護器具，以降低粉塵暴露。

8. 噪音危害預防

- (1) 工作場所之打磨、拋光設備等產生噪音之機械，應予以適當隔離，並與一般工作場所分開為原則。
- (2) 若發生強烈振動及噪音之機械應採消音、密閉、振動隔離或使用緩衝阻尼、慣性塊、吸音材料等，以降低噪音之發生。
- (3) 於噪音工作場所顯目處張貼噪音危害標示及公告噪音危害之預防事項。
- (4) 噪音超過九十分貝之工作場所，應標示並公告噪音危害之預防事項，使勞工周知。
- (5) 噪音超過八十五分貝之工作場所，應使作業人員配戴適當之防因防護器具（如耳塞、耳罩等）。
- (6) 加強員工對聽力防護之教育訓練計畫。
- (7) 落實職前的噪音作業聽力體格檢查及每年定期噪音作業聽力健康檢查。
- (8) 雇主應使勞工戴用有效之耳塞、耳罩等防音防護具。

9. 消防安全

(1) 防火措施

A. 檢查和維護。

- a. 應實施檢查、測試和維護計劃，以確保製程控制和設備按設計運行，且製程設備的變更不會增加危險。
- b. 檢查、試驗和維護計畫應包括以下內容：
 - (a) 根據適用的 NFPA 標準，進行防火和防爆保護設備的檢查、測試和維護。
 - (b) 粉塵控制設備。
 - (c) 環境清潔。
 - (d) 潛在的火源。
 - (e) 電氣、製程及機械設備，包括製程連鎖裝置。
 - (f) 製程變更。
 - (g) 接地和連接系統的連續性檢查。
 - (h) 必要時對靜電鞋及導電地板進行電阻測試。
 - (i) 承載或運輸可燃氣體、液體和/或危險化學品或在發生洩漏時，可能相互作用並造成危險的材料的管道系統。

- c. 應根據需要對作業區域進行徹底檢查，以幫助確保設備狀況良好並遵循正確的工作手冊。
 - (a) 檢查應至少每季度進行一次。
 - (b) 檢查應由熟悉正確做法的人員進行，並應記錄檢查結果和建議。
- d. 操作和維護程序應每年審查一次，並根據製程變更的要求，進行審查。

B. 控制可燃物料的方法或措施

- a. 普通可燃物儲存。
 - (a) 除非對製程必要，否則不得在作業區域存放或堆積紙張、木材、紙箱和包裝材料等普通可燃物，應放置在指定區域。
 - (b) 不得將普通可燃材料丟棄在用於收集可燃金屬廢棄物的容器中。
- b. 清除可燃金屬碎片、細屑、切屑、糊狀物、粉末、灰塵和殘渣。
 - (a) 所有可燃金屬碎片、車床切屑和切屑，應收集在密閉金屬容器中，每天至少清理一次，並移至安全的儲存或處置區域。

- (b) 開放式儲存易燃的海綿、碎片、細粉和灰塵，應與其他可燃材料和金屬廢料隔離，以防止火災的擴散。

(2) 消防

A. 滅火行動

- a. 訓練有素的員工可以用便攜式滅火器或其他乾式滅火劑應對初期火災，前提是火災可以控制。
- b. 註：員工若預期會進行任何種類的滅火行動，應定期接受培訓。對預計參與滅火行動的人員應考慮提供額外的眼部保護，以防止燃燒可燃金屬時發出的更高強度的光對視力造成影響。
- c. 如果木片、車屑或粉末壓塊著火，除非由熟悉易燃金屬火災方面的人員進行操作，否則不得擾動或移動盤子或托盤，直到火被撲滅並且材料已冷卻至環境溫度。
- d. 初期階段以外的可燃金屬火災應由專業消防人員、經過特殊訓練的消防隊人員或兩者一同對抗。
- e. 一旦火勢被撲滅並且形成硬塊，在殘餘物冷卻至室溫之前，不得擾動殘餘物。

- f. 應保護火災殘留物，以防止不良反應，並防止形成反應性或不穩定化合物。
- g. 火災殘留物，應依照相關法規及標準進行處理。

B. 消防組織

- a. 只有經過訓練的人員才可以從事滅火行動。
 - (a) 經過訓練的人員外，其他人員應撤離該區域疏散。
 - (b) 教育訓練應強調預期的不同類型火災，以及應使用的適當滅火劑和技術。
- b. 消防人員接受滅火訓練，應在遠離生產建築的安全地點設置的試驗火災的訓練。
 - (a) 訓練應包括所有可能的意外情況。

(3) 緊急準備

- A. 由於可燃金屬火災的獨特性質，處理、操作、使用或儲存可燃金屬的設施業主或經營者應編制並保持一份全面的緊急應變計劃。
 - a. 該計劃應在現場提供給緊急應對人員。
 - b. 該計劃應包括在可燃金屬火災發生時的具體行動，並應與設施管理和緊急應對人員協調。

- c. 該計畫應說明存在以下任何情況時，遠端關閉供電系統的位置：
 - (a) 水（各種水源的水）
 - (b) 電工材料
 - (c) 易燃氣體
 - (d) 易燃液體
 - (e) 有毒物質
 - (f) 其他有害物質
 - d. 該緊急應變準備計畫，應提供有關安全處理可燃金屬火災的資訊(詳如 NFPA484 8.4.2.4 條)
- B. 應制定發生火災或爆炸時，應遵循的緊急程序。
- C. 處理可燃金屬區域的所有員工，應按照以下程序進行初次和每年教育訓練：
- a. 所有員工應由其主管仔細、全面地指導其工作環境的危險性，以及發生火災或爆炸時的行為和程序。
 - b. 所有員工應接受工作區域安全和適當疏散方法的訓練。
 - c. 應向所有員工展示電氣開關和警報器、急救設備、安全設備和滅火設備的位置。

- d. 預計在初次火災時使用滅火設備的員工，應接受正確使用設備的訓練。
- e. 所有員工應學會處理初期火災的可行方法，並應學會隔離火災並啟動緊急通知
- f. 應檢討並解釋引起粉塵雲的危險，以及將液體噴灑到初期火災上的危險。
- g. 應審查和解釋設備操作、啟動和關閉，以及對異常情況的反應。
- h. 應檢討並說明防火防爆系統的必要性和功能。
- i. 應審查並解釋緊急應變計畫。
- j. 應與員工一起審查，並向員工解釋清潔和除塵方法，以減少火災和爆炸的危害。
- k. 應與員工一起審查，並向員工解釋針對存在的金屬的適當清潔和除塵方法。
- l. 在對抗鹼金屬火災時，消防人員非常重要的是要意識到燃燒鹼金屬的危險。當熔化的鹼金屬與水或易燃或可燃氣體等材料發生反應時，熔化的鹼金屬可以被噴射到相當遠的距離。鹼金屬反應的嚴重程度取決於多種條件。

- m. 已與水分和空氣接觸過的鹼金屬殘留物是鹼金屬氫氧化物和鹼金屬氧化物，在與皮膚或眼睛接觸時將導致腐蝕性灼傷。在處理鹼金屬火災殘留物時，人員必須穿戴適當的耐腐蝕個人防護裝備。
- D. 在鹼金屬到達現場前，應通知當地消防局現場有水反應物質，並告知用水撲滅鹼金屬火災的危險。
- E. 如果易燃金屬被收集或儲存在容器中，應隨時提供具有足夠能力在緊急情況下移除任何容器的物料處理設備。

(4) 緊急應變

- A. 應向緊急應變人員，提供以下要執行的行動清單，以及有關可燃金屬危險的信息，以便安全處理可燃金屬火災：
 - a. 對火災中涉及的金屬進行估量、危害鑑別和風險評估。
 - b. 確保對受影響地區的公用設施（例如水、瓦斯、電力等）進行控制。
 - c. 查看所涉及產品的安全資料表 (SDS)，如果有可能，請聯絡熟悉該產品和危害的人員。
 - d. 評估火災是否能安全隔離並讓其自行熄滅。

- e. 如果火災是在密閉容器（例如集塵系統）中燃燒，則輸送系統使用有足夠的惰性氣體保護層（例如氬氣、氮氣或氦氣），並考慮人員安全的情況下控制火勢。
- f. 評估爆炸的可能性。
- g. 對於涉及可燃金屬粉末、粉塵和細粉的火災，要格外小心，因為可能會發生爆炸，特別是當產品飄浮在空氣中並且環境存在有效的點火源時。
- h. 評估生活用水和消防用水系統的控制和關閉，以防止水意外接觸燃燒或熔化的可燃金屬。
- i. 使用與存在的不相容的滅火劑。（見NFPA 484 8.3.3。）
- j. 使用滅火劑來控制小火和初期火災。（見 NFPA 484 8.3.3。）
- k. 結構內涉及大量產品的火災可能會引發快速的熱量積聚和煙霧生成，通常還涉及普通易燃物的火災，請格外小心。
- l. 如果產品是乾燥的，大多數涉及易燃金屬的火災，只能透過提供氬氣或氮氣（以及鹼金屬或鐵的氮氣）惰性氣氛來撲滅。

- m. 大多數火災可以透過使用氫氣或氮氣（或使用氮氣來處理鹼金屬或鐵）或透過形成氧化膜來控制。
- n. 如果在產品完全氧化或自熄之前擾動產品，則火災中涉及的金屬溫度可能仍然非常高，火災可能會再次燃燒。
- o. 水與熔融的可燃金屬接觸，會產生劇烈的蒸氣爆炸，並能引起氫氣爆炸和反應。
- p. 盡可能隔離金屬；大規模的火災可能無法撲滅。
- q. 評估是否有足夠的排水設施，以防止水接觸。
- r. 評估火災情況，以確定火災是否可以自然熄滅，從而對人員的危害和對暴露物的損失最小化。

第六章 各項預定目標之達成程度

本研究案辦理期間如下：

| 各項預定目標 | 已完成 | 備註 |
|-----------------------------|-----|----|
| 蒐集國內、外金屬打磨、拋光作業火災爆炸事件 | V | |
| 合作廠商選擇 | V | |
| 合作廠商現場訪視與輔導 | V | |
| 國內重大金屬打磨、拋光作業重大火災爆炸事件分析 | V | |
| 打磨、拋光金屬(含鋁鎂合金)粉末火災爆炸特性檢測與分析 | V | |
| 期中報告撰寫與修正 | V | |
| 金屬打磨、拋光作業火災爆炸防護之現況與方法 | V | |
| 防止金屬打磨、拋光作業火災爆炸危害之安全改善對策 | V | |
| 金屬打磨、拋光作業之安全衛生檢核表 | V | |
| 金屬打磨、拋光作業安全管理手冊 | V | |
| 期末報告撰寫與修正 | V | |

第七章 結論及建議

本計畫以金屬打磨、拋光作業為主要探討對象，本研究已完成國內、外金屬打磨、拋光作業火災爆炸工安事件蒐集，並從蒐集之工安事件選一案例進行金屬打磨、拋光作業重大火災爆炸事件分析，接著實地於現場訪視與輔導(至少 3 廠家)，並於現場訪視過程中，完成蒐集與彙整其製程相關資訊，以及取樣作業現場之物料進行物質火災爆炸特性檢測與分析、研擬防止金屬打磨、拋光作業火災爆炸危害之安全改善對策、金屬打磨、拋光作業之安全衛生查核表及金屬打磨、拋光作業安全管理手冊，供業者使用，結論與建議如下：

一、結論如下：

1. 部分業者作業現場仍可發現有粉塵堆積的現象，建議落實 5S（整理、整頓、清掃、清潔與素養）管理機制，除能避免伴隨加工作業產生之粉塵及浮塵引起之塵爆危害，亦能確保工作者之健康。
2. 目前現有之傳統中小型企業因有成本的考量或工安認知上之落差等問題，部分業者未設置局部排氣設備，致使作業中伴隨產生之粉塵及浮塵滯留於作業區域，具形成可燃性之環境，增加火災爆炸與勞工罹患職業病之潛在風險。

3. 打磨拋光作業時會產生較大的噪音，作業現場少數作業人員沒有配戴聽力防護具；可能會造成作業人員噪音性聽力受損。
4. 現場作業場所環境中有可燃性粉塵滯留，但未定期檢測通風換氣設備之有效性，無法評估作業環境中粉塵之濃度，增加環境火災爆炸潛在風險。
5. 部分作業場所具有塵爆之潛在危害，但未進行火災爆炸危險區，故未完整對防爆電氣進行安全評估與設置，因此未能有效防阻電氣火源可能引發之危害。
6. 安全資料表 (SDS) 顯示金屬粉粒與水接觸會產生氫氣，故目前業者集塵方式多以乾式集塵，但作業過程中人員及排氣與附屬設施 (如：導管材質、濾袋與濾芯等) 皆具有靜電放電潛在危害。
7. 安全資料表 (SDS) 之部份火災爆炸特性未標註出或有誤，且多數業者不清楚作業過程中產生之金屬粉火災爆炸特性，故無法有效的將作業過程中潛在危害鑑別出。
8. 業者所提供金屬物料之 SDS 中，其滅火措施皆顯示水為不適宜之滅火藥劑，但現場設置的消防設備幾乎都是以室內消防栓為主，針對乾燥之金屬粉之滅火藥劑建議可參考 NFPA484。

9. 業者未依建築法第 73 條對於核定之使用類組使用/變更其消防設施，而導致緊急應變所需滅火措施與物料特性有相衝突之危害現象，建議相關主管機關應平行聯繫，適時提醒業者應依法設置合宜之消防設備，以免因不小心觸法（處新臺幣六萬元以上三十萬元以下罰鍰）。

二、建議如下：

1. 業者：

- (1) 可參考本計畫所訂定之金屬打磨、拋光作業安全管理手冊，進行製程安全與安全衛生預防和控制措施規畫與改善之依據。
- (2) 可運用研究團隊製作金屬打磨拋光作業風險危害鑑別檢核表，能完整將該作業單元之潛在危害辨識出，並可提升業者風險評估能力與危害預防專業。
- (3) 遵循職業安全衛生設施規則第 177 條規定及 CNS 3376 標準，進行火災爆炸危險區域規劃與設置，並依據火災爆炸危險區域劃分結果，檢視現有之防爆電氣規格是否合宜，以有效防阻電氣火源可能引發之危害必要時建議找第三方專家學者針對現場進行火災爆炸危險區域劃分。
- (4) 應盡速完整提供廠內各項物料之安全資料表，若各項欄位

資訊不足，建議與與國內安全衛生相關研究機構攜手產學合作，將各項火災爆炸特性檢測出，以落實 SDS 之完整性外。

- (5) 應針對現場進行靜電安全防護應確認地板(含走道及區內作業台)、工作服、鞋等之電阻值，以評估作業人員帶靜電之風險，並據此規劃合宜抗靜電環境，以避免人員產生靜電放電之危害。
- (6) 應加強員工作業環境通風換氣之效能，除應依法定期進行環境測定外，作業環境之整體換氣與局部排氣應定期檢查，並於通風換氣設備應增設差壓計，以有效監控各排氣管之有效性。
- (7) 金屬打磨拋光作業過程中會衍生出噪音危害，當現場噪音場所聲音超過九十分貝時，雇主應採取工程控制、減少作業人員噪音暴露時間。
- (8) 建議未來亦可運用逐步驟(step by step)方式，針對每一階段或步驟執行操作程序之危害與可操作性分析(Procedural HazOp)，協助辨識人為操作錯誤可能衍生的製程危害，以確保評估過程的完整性，作為工作場所分析製程危害及必要預防措施之依據。

2. 操作員工：

- (1) 應落實落實個人防護器具之正確選用及穿戴，如：安全眼鏡、安全鞋、耳塞及耳罩等，並妥善將個人防護具定期更換及應有專櫃置放。
- (2) 應定期對作業人員進行教育訓練，並仔細且全面地告知其工作環境的危險性，以及發生火災或爆炸時的相關作業與程序。

3. 政府部門：

- (1) 應對安全衛生資源較弱之金屬打磨拋光業者，可透過工業局工安輔導、職安署在各縣市之工安在地紮根等活動，協助與提升金屬打磨拋光業者之安全認知、製程單元風險危害鑑別檢核、製程安全評估與安全衛生防護。

- (2) 將本案所訂定之安全衛生查核表提供給業者及安全衛生檢查機關，以有效提升業者之安全衛生自主查核能力，並協助安全檢察機關有效落實金屬打磨拋光之安全衛生查核。
- (3) 將本案所訂定之金屬打磨拋光作業安全管理手冊給金屬打磨拋光業者，協助業者進行安全衛生預防和控制措施時有所依據。

第八章 經費運用情形報告

本研究依據計畫書所擬定之經費概算表運用補助經費，使用情形如下經費支用報告表（如表 53）所示：

表 53 經費支用報告表(單位：新臺幣元)

| 項目 | 預算數 | 實支數 | 自籌款 | 勞動部補助金額 | 無機關補助金額 | 單據編號 | 實支數分析 | | |
|-----------------|-----------|-----------|-----|-----------|---------|------|------------|----------|------------|
| | | | | | | | 機關別 | 補助(自籌)比例 | 實際(自籌)補助金額 |
| 主持人 | 240,000 | 240,000 | 0 | 240,000 | 0 | | 自籌部分 | 0% | 0 |
| 兼任研究助理薪資 | 88,000 | 88,000 | 0 | 88,000 | 0 | | | | |
| 保費、退休金或離職儲金 | 67,397 | 74,322 | 0 | 74,322 | 0 | | | | |
| 工作人員費 | 368,192 | 368,192 | 0 | 368,192 | 0 | | | | |
| 文具紙張 | 9,626 | 6,051 | 0 | 6,051 | 0 | | 勞動部補助部分 | 100% | 1,181,165 |
| 報告印刷費 | 20,000 | 15,550 | 0 | 15,550 | 0 | | 無機關補助部分 | 0% | 0 |
| 電腦處理費 | 30,000 | 30,000 | 0 | 30,000 | 0 | | | | |
| 儀器、設備使用、租賃及維護費用 | 180,000 | 174,300 | 0 | 174,300 | 0 | | | | |
| 差旅費 | 30,000 | 18,200 | 0 | 18,200 | 0 | | 合計 | 100% | |
| 材料費 | 150,000 | 149,765 | 0 | 149,765 | 0 | | 勞動部核定補助金額 | | 1,200,000 |
| 行政管理費 | 16,785 | 16,785 | 0 | 16,785 | 0 | | 勞動部實際可補助金額 | | 1,181,165 |
| 合計 | 1,200,000 | 1,181,165 | 0 | 1,181,165 | 0 | | | | |

第九章 效益評估

- 一、透過與水反應性試驗結果顯示，大部分金屬粉/粒與水不會產生氣體及放熱反應，故未來可再評估局部排氣系統之空氣清淨裝置合宜性之設置（如：濕式洗滌塔或濕式過濾等）。
- 二、提升金屬打磨拋光作業安全，降低職業災害率。
- 三、金屬物料安全資料表（SDS）物理及化學性質（第九項）安全資訊不完整（部份火災爆炸特性未標註出或有誤，且多數業者不清楚作業過程中產生之金屬粉火災爆炸特性），本實驗結果都有回饋於業者，可作為現場安全防護設計之參考。
- 四、運用金屬打磨拋光作業風險危害鑑別檢核表 1.明確告知化學品有哪些特性需進一步分析或檢測。2.能將單元作業可能產生之物理性危害探究出可將作業中可能伴隨產生之化學性危害辨識出。3.能對現有作業條件進行安全性評估。4.能完整將該製程單元之潛在危害辨識出。
- 五、完成之安全衛生查核表提供給業者及安全衛生檢查機關，以有效提升業者之安全衛生自主查核能力，並協助安全檢查機關有效落實金屬打磨拋光作業之安全衛生查核。

- 六、完成之金屬打磨拋光作業安全管理手冊，使業者進行作業安全與安全衛生預防和控制措施規畫與改善之依據，提供金屬打磨拋光作業廠商有效之火災爆炸防護方法輔導。
- 七、掌握金屬打磨拋光作業危害因素，保障勞工安全。
- 八、研究成果提供政府主管機關與國內相關廠家執行火災爆炸危害防制參考依據。
- 九、預計投稿期刊或研討會論文至少 1 篇，作為國內相關業者危害預防與控制之參考應用。
- 十、配合本所成果發表會，進行成果推廣。

參考文獻

- [1] 中華民國經濟部統計處，「金融海嘯以來，金屬製品業主要營運指標優於整體製造業」，發布時間：2021/04/15，網址：
https://www.moea.gov.tw/MNS/populace/news/News.aspx?kind=1&menu_id=40&news_id=93918。
- [2] 民視新聞網，「金屬製品業 108 年營收 1.4 兆元 居製造業第 3 大」，網路時間：2023/02/10：
<https://www.ftvnews.com.tw/news/detail/2021415W0073>。
- [3] 微博，「铝镁粉尘爆炸事故」，發布時間：2014/08/02，
https://weibo.com/p/1001603739093891713478?pids=Pl_Official_CardMixFeedv6__4&feed_filter=1
- [4] 黃傑郁、張承明，「可燃性粉塵物質之危害預防研究」，勞動部勞動及職業安全衛生研究所，2019 年 06 月。
- [5] 因斯福論壇，「金属抛光粉尘爆炸事故统计」，發布時間：
2011/10/23，
<https://envsafe.cn/bbs/forum.php?mod=viewthread&tid=55>
- [6] 消防心論壇，「10 噸鎂粉爆炸 鹽巴滅火(桃園)」，發布時間：
2011/02/12，網址：
<http://fireman.tw/forum.php?mod=viewthread&tid=21001>
- [7] 經濟通，iPad 的真相，富士康的謊言，發布時間：2011/06/14，
網址：
<https://www.etnet.com.hk/www/tc/lifestyle/archive/webtalk/5130>

- [8] 國務院安委會辦公室，國務院安委會辦公室關於深入開展鋁鎂製品機加工企業安全生產專項治理的通知，發布時間：
2012/08/15，網址：
https://www.mem.gov.cn/awhsy_3512/awhbgswj/201208/t20120815_247239.shtml
- [9] Dallas W Hartman P.C ，ELEVEN INJURED, TWO SERIOUSLY, IN FACTORY EXPLOSION，2014/04/30，網址：
<https://www.dallashartman.com/blog/2014/04/eleven-injured-two-seriously-in-factory-explosion/>
- [10]環境資訊中心，「黑手頭家啟示錄：崑山中榮金屬粉塵爆炸案一週年追蹤」，發布時間：2015/07/02，網址：<https://e-info.org.tw/node/108594>。
- [11]台灣英文新聞，「台灣漢翔公司西屯廠粉塵氣爆 1 死 6 傷・中市府要求停工改善 空軍：勇鷹及 F-16V 進度不受影響」，發布時間：2021/12/29，網址：
<https://www.taiwannews.com.tw/ch/news/4391827>。
- [12]自由時報，「平鎮工廠爆炸全面燃燒 疑 1 女工受困」，發布時間：2022/03/01，網址：
<https://news.ltn.com.tw/news/society/breakingnews/3845322>。
- [13]自由時報，「桃園市工廠火警連發！疑鋁粉閃燃 新屋 3 移工遭火吻」，發布時間：2022/03/01，網址：

<https://news.ltn.com.tw/news/society/breakingnews/3845407>。

[14]晴報，「工廠爆炸 | 廣東清遠鋁廠爆炸現蘑菇雲 釀4死1重

傷」，發布時間：2022/04/05，網址：

<https://skypost.ulifestyle.com.hk/article>。

[15]Yahoo!新聞，「苗栗加工廠突起火！5消防員火場救援「遇氣

爆」 臉遭灼傷急送醫」，發布時間：2022/07/25，網址：

<https://tw.news.yahoo.com>。

[16]維基百科，「研磨」，網頁最後修訂時間：2020/9/15，網址：

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%A0%94%E7%A3%A8>

[17]紅月設計團設計部，「研磨拋光的原理」，網頁查詢時間：

2023/3/15，網址：<https://redmoondesignteam.com/polishing/>

[18]維基百科，「拋光」，網頁最後修訂時間：2023/3/25，網址：

<https://zh.wikipedia.org/zh-hk/%E6%8A%9B%E5%85%89>

[19]每日頭條，「金屬表面處理之拋光」，發布時間：2016/12/29，網

址：<https://kknews.cc/zh-tw/news/g2ak5qy.html>

[20]桃園市政府勞動檢查處，「勞檢處呼籲製造業金屬加工研磨作業

應預防粉塵爆炸」，發布時間：2022/04/08，網址：

<https://oli.tycg.gov.tw/>

[21]National Fire Protection Association (NFPA) 68, 2018

[22]National Fire Protection Association (NFPA) 69, 2019

[23]National Fire Protection Association (NFPA) 484, 2019

[24]法務部，全國法規資料庫，職業安全衛生法（2019），相關網址：

<https://law.moj.gov.tw/>。

[25]法務部，全國法規資料庫，職業安全衛生法施行細則（2020），相關

網址：<https://law.moj.gov.tw/>。

[26]法務部，全國法規資料庫，職業安全衛生設施規則（2022），相關

網址：<https://law.moj.gov.tw/>。

[27]法務部，全國法規資料庫，職業安全衛生管理辦法（2022），相關

網址：<https://law.moj.gov.tw/>。

[28]法務部，全國法規資料庫，消防法（2023），相關網址：

<https://law.moj.gov.tw/>。

[29]法務部，全國法規資料庫，各類場所消防安全設備設置標準

（2021），相關網址：<https://law.moj.gov.tw/>。

[30]法務部，全國法規資料庫，公共危險物品及可燃性高壓氣體製造

儲存處理場所設置標準暨安全管理辦法（2021），相關網址：

<https://law.moj.gov.tw/>。

[31]法務部，全國法規資料庫，用戶用電設備裝置規則（2021），相

關網址：<https://law.moj.gov.tw/>。

[32]International Electrotechnical Commission (IEC 60079-32-1), 2013

[33]勞動部勞動及職業安全衛生研究所相關著作。

附件一 期中委員審查意見回覆

(一)金屬粉末多為合金粉末種類繁多，請補充本案所測試之材料的組成或型號(P.29)。

回覆：謝謝委員的建議，因物料組成及型號皆屬商業機密業者不願意提供，故無法顯示。

(二)請補充打磨區測試中的鋁粉+純水，鋼粉+純水之水含量(P.32-33)

回覆：謝謝委員的建議，已比照辦理，如期末報告 p.32~p.33。

(三)鋁粉與鋼粉的粒徑分布差異很大(P.34-35)，請補充測試之粒徑對火災的影響。

回覆：謝謝委員的建議，已比照辦理，如期末報告 p.34~p.36。

(四)建議補充打磨區打磨物件本身的溫度。

回覆：謝謝委員的建議，業者打磨區打磨作業與打磨物件本身溫度皆為常溫，如期末報告 p.24。

(五)建議後續實驗可以探討打磨時所使用的藥劑（例如有機化學品、漿料）對於著火的影響。

回覆：謝謝委員的建議，訪視之廠家打磨時未使用藥劑，故業者無法提供樣本進行火災爆炸特性測試，由相關資料查詢之安全資料表安全特性不足，無法進一步進行分析與探討，未來若有機會會再規劃相關研究探討相關影響。

(六)國內外金屬打磨、拋光之工安事件皆可在眾多文獻中找到資料，這部分的資料整理應更充足。

回覆：謝謝委員的建議，已增加金屬打磨、拋光作業案例，如期末報告 p.4~p.6。

(七)目前為本研究第八個月之期間，計畫之進度與甘特圖表定之進度稍顯落差，是否能與表定之時間進度相符，亦或需要調整？

回覆：謝謝委員的建議，已調整甘特圖進度，如期末報告 p.16。

(八)p.25 美國編號 40 之標準篩網能否有更詳細的說明？(ASTM, mesh 等)

回覆：謝謝委員意見，已增加說明，如期末報告 p.25。

(九)p.33 圖 12 中曲線約在時間 2200 s 時發生溫度下降的情形為何？

回覆：謝謝委員建議，為了實驗的準確性，研究團隊有再重新實驗三次以上，未見其現象之產生，有可能是溫度偵測位置偏離，新的數據如期末報告 p.33。

(十)補充說明粒徑測量是採用何者標準，使用的方式為乾式分析或濕式分析？

回覆：謝謝委員建議，粒徑測量是採濕式分析，測量方法是參考 ISO13320 標準，如期末報告 p.35。

(十一) 粉堆燃燒時是否有粉量、堆疊方式或特定測量標準方法？

回覆：謝謝委員建議，本實驗是依照德國工程師協會（Verein Deutscher Ingenieure，簡稱 VDI）2263 SAV 010 規定，如期末報告 p.37。

(十二) 環境粉體是否有機率因飄散導致與其他類型的金屬粉混和，進而導致導電性上昇（電阻率下降）之情形？

回覆：謝謝委員意見，由於本計畫合作廠家不同金屬會在不同的作業區進行，若要與其他類型的金屬粉混和機率較低。

附件二 訪視紀錄

1. A 公司訪視紀錄

(1) 第一次訪視內容：

- A. 告知 A 公司 112 年度承接勞動部職業安全衛生署之計畫，說明計畫內容與目的，使業者了解計畫相關資訊。
- B. 業者說明其公司主要產品，以了解 A 公司在金屬打磨、拋光作業之部分會使用到哪些金屬，以及說明目前是否有遇到安全衛生上或在相關國內法規中施行上之問題。
- C. 詢問業者是否願意參與計畫，若願意參與，研究團隊將安排第二次訪視進入現場進行訪視輔導，業者表示願意配合計畫執行。

(2) 第二次訪視內容：

- A. 前往訪視之前，會先與業者討論當日訪視時間與流程。
- B. 由現場工安人員到我們前往金屬打磨、拋光作業，訪視後研究團隊紀錄現場訪視之缺失並提出改善建議。
- C. 詢問業者是否進一步提供相關作業伴隨產之粉體供研究團隊進行進一步進行火災爆炸特性量測分析，以及後續再安排時間與業者說明物料測試結果。

(3) 第三次訪視內容：

- A. 前往訪視之前，會先與業者討論當日訪視時間與流程。
- B. 由現場工安人員安排討論會議，針對業者所提供之粉體結果進行報告，以及對本計畫所製作之金屬打磨、拋光作業安全衛生查核表和安全管理手冊進行討論。

2. B 公司訪視紀錄

(1) 第一次訪視內容：

- A. 告知 B 公司 112 年度承接勞動部職業安全衛生署之計畫，說明計畫內容及目的讓業者了解計畫相關資訊。
- B. 業者說明其公司金屬打磨、拋光作業相關資訊，並詢問是否願意讓研究團隊進入現場進行訪視。
- C. 業者同意並直接帶研究團隊進入作業區進行訪視，透過現場訪視得知目前在作業現況為何。
- D. 訪視後提供業者相關安全衛生輔導改善建議事項。
- E. 詢問業者是否進一步提供相關作業伴隨產之粉體供研究團隊進行進一步進行火災爆炸特性量測分析，以及後續再安排時間與業者說明物料測試結果。

(2) 第二次訪視內容：

- A. 第一次訪視時業者有提供物料，研究團隊向業者說明數據分析結果並解決業者相關疑問。
- B. 先以前次缺失之處進行訪視，業者已有部分改善完成，部分尚未完成。
- C. 與業者討論本計畫所製作之金屬打磨、拋光作業安全衛生查核表和安全管理手冊內容。

3. C 公司訪視紀錄

(1) 第一次訪視內容：

- A. 告知 C 公司 112 年度承接勞動部職業安全衛生署之計畫，說明計畫內容及目的讓業者了解計畫相關資訊
- B. 業者說明其公司相關產品及金屬打磨、拋光作業相關資訊，並詢問是否願意讓研究團隊進入現場進行訪視。
- C. 業者同意並帶研究團隊進入製程區進行訪視，但須跑公司流程故安排在第二次訪視時進行。
- D. 詢問業者是否進一步提供相關作業伴隨產之粉體供研究團隊進行進一步進行火災爆炸特性量測分析，以及後續再安排時間與業者說明物料測試結果。

(2) 第二次訪視內容：

- A. 先向業者說明第一次訪視後所提供化學品之數據分析結果，並回應業者提出之疑問。
- B. 討論當日訪視流程，以前次尚未訪視處及前次缺失處進行訪視，業者尚未完成改善，會另外再安排時間追蹤其改善狀況。

(3) 第三次訪視內容：

- C. 前往訪視之前，會先與業者討論當日訪視時間與流程。
- D. 追蹤前一次未改善項目之改善狀況。
- E. 與業者討論本計畫所製作之金屬打磨、拋光作業安全衛生查核表和安全管理手冊進行內容之合宜性。