建國科技大學
工業工程與管理系

一百學年度畢業專題製作

僑柏精密鑄造公司風險評估與安全改善

A Study of Risk Evaluation and Safety Improvements. for GEOBER Precision Casting Co., LTD

IE100 日 四 A–02

指導老師
夏太長

製作學生
江銘晟 97405004
陳奕帆 97405022
翁子微 97405041
陳志函 97405045
林德源 97405009
郭昱欣 97405037

中 華 民 國　一 百　年　十 二　月

建 國 科 技 大 學　工 業 工 程 與 管 理 系

畢業生專題製作口試委員會審定書

本系 一百 學年度畢業生：江銘晟(97405004)、陳奕帆(97405022)、翁子微(97405041)、陳志函(97405045)、林德源(97405009)與郭昱欣(97405037)等六員

所提專題題目：僑柏精密鑄造公司風險評估與安全改善

合於大學生畢業資格水準，業經本委員會評審認可。

口試委員：任筱玉　張玉琪

夏杰長

指導老師：夏杰長

系 主 任：

中 華 民 國 一 百 年 十 二 月 三 十 日

致謝

本專題製作能夠順利完成首先要感謝僑柏精密鑄造公司林水材董事長的協助，在百忙中親自引領我們專題學生至公司每一個部門深入瞭解精密鑄造的每一步驟；第二要感謝夏太長院長悉心的指導，每一章節，每一段話都親自講解，並逐字斧正，盡心盡力；第三要感謝何志勤老師每次參訪僑柏精密鑄造公司時，都有何志勤老師的陪同，並且給予精密鑄造專業的解釋。

專題製作一年半的過程很辛苦，相對的也有豐富的收穫，感謝許勝源主任與蔡文豐老師給予我們在系統化創新的啓迪，在專題製作遭遇困難時，我們亦向許主任與蔡老師請教，讓我們專題製作內容更豐富，此外本專題製作還參與 2011 系統化創新(TRIZ)競賽入圍，使我們瞭解一件事情的完成決非一人的努力，而是群體群力的努力結果，在畢業前夕，特別向本專題製作有幫助的師長　致上最深層的謝意。

工管四甲學生：江銘晟、陳奕帆、翁子微

陳志函、林德源與郭昱欣 敬上

摘要

台灣僑柏精密鑄造工業股份有限公司(以下簡稱僑柏公司)以脫蠟技術生產精密鑄造產品，具有頗高的知名度，產品行銷海內外。但僑柏公司在執行精密鑄造過程中尚存在許多風險，諸如機器裝備長期處於高溫、高壓、高噪音與粉塵中，作業人員則需在此環境中精確與穩定地依據標準作業程序執行作業，稍有不慎都有可能發生工業安全事件。本專題研究首先針對精密鑄造製程每道步驟進行風險評估；其次，找出具有危害風險之鑄造步驟；最後，用系統化創新技術(TRIZ)檢視具有危害風險之鑄造步驟，找出發生工業安全問題的癥結，擬訂改善方案，鞏固僑柏公司安全，提升生產績效，增進作業人員福祉。

關鍵詞：精密鑄造、工業安全、危害風險、系統化創新技術

Abstract

GEOBER Precision Casting Co., LTD. (herein referred to as GEOBER Co.) is famous for its precision casting products using dewaxing technology in Taiwan and its products are sold to domestic and aboard market. However, there exist a lot of risk factors during the manufacturing process, such as machines, equipments were exposed to the environment with high temperature and pressure, noise and dust. These risks will give rise to industrial safety event in case of any carelessness. Therefore, the works were necessary to carry out the process assignment according to Standard Operating Procedures. First, this research aimed at each manufacturing process of precision casting to evaluate the risk. Second, this research tries to find out the risk of harm in the casting processes. Third, employing the theory of systematic innovation methodology (TRIZ), this research examines the casting processes which have risk of harm and figures out industrial safety event to develop the safety improvement plan aimed at every problem. Eventually, the results will raise production performance and increase employee welfare in GEOBER Co.

Keywords:Precision Casting, Industrial Safety, Risk of Harm, the Theory of systematic innovation (TRIZ)

目錄

頁數

畢業生專題製作口試委員會審定書----------i
致謝----------ii
摘要----------iii
Abstract----------iv
目錄----------v
圖目錄----------vi
表目錄----------viii
第一章 緒論----------1
第二章 僑柏公司精密鑄造製程----------2
2.1 公司簡介----------2
2.2 僑柏公司精密鑄造流程----------3
第三章 精密鑄造風險評估----------16
第四章 針對具危害風險步驟以系統化創新技術(TRIZ)進行改善----------23
4.1 針對脫蠟與供蠟步驟進行改善----------24
4.2 針對澆鑄步驟進行改善----------30
第五章 結論----------33
參考文獻----------34

圖目錄

頁數

圖 2-1　公司位置圖----------2
圖 2-2　僑柏公司精密鑄造流程----------3
圖 2-3　依顧客訂單製作模具----------4
圖 2-4　射蠟----------5
圖 2-5　蠟型----------5
圖 2-6　組樹----------6
圖 2-7　沾漿----------6
圖 2-8　蠟型組樹----------7
圖 2-9　敷漿----------8
圖 2-10 脫蠟機進行脫蠟----------9
圖 2-11 供蠟系統----------9
圖 2-12 燒結爐----------10
圖 2-13 鑄模模型在燒結爐中燒結----------10
圖 2-14 高週波爐----------11
圖 2-15 澆鑄----------11
圖 2-16 鑄模放置冷卻箱冷卻----------12
圖 2-17 振殼----------12
圖 2-18 切串----------13
圖 2-19 研磨----------13
圖 2-20 噴砂機執行表面處理----------14
圖 2-21 用材質分析儀進行品質檢驗----------15
圖 3-1　棒球場分析圖----------22
圖 4-1　感應貼紙----------26
圖 4-2　蠟質輸送發電裝置----------26
圖 4-3　熱力轉換儲備裝置----------27
圖 4-4　惰性氣體供應器----------27
圖 4-5　熱轉電熔蠟機器----------29
圖 4-6　旋轉發電降溫裝置----------29
圖 4-7　澆鑄過程危害風險物質-場模型----------30

圖 4-8　弧形遮罩----------31
圖 4-9　改善後澆鑄過程物質-場模型----------31
圖 4-10 茶壺型高週波爐----------32
圖 4-11 簡易金屬射入機器----------32

表目錄

頁數

表 3-1 事件發生的嚴重程度指標分爲四個等級----------16
表 3-2 事件發生的機率指標分爲五個等級----------17
表 3-3 精密鑄造步驟進行嚴重程度與機率等級評分統計表----------17
表 3-4 依精密鑄造步驟進行嚴重程度與機率等級評分----------18
表 3-5 本專題研究邀請僑柏公司董事長、工程師及部門領班、品管人員及專題指導老師評後計算 μ_C 與 μ_F ----------20
表 3-6 精密鑄造步驟可能發生的事件經評定後嚴重程度、機率等級與綜合風險指標----------21
表 4-1 脫蠟與供蠟步驟進行改善建立物理矛盾矩陣----------25
表 4-2 三處熔蠟機器皆 24 小時供電，且在高溫下決不容許發生火災矛盾矩陣-28
表 4-3 加裝弧形遮罩造成使用上複雜度之矛盾矩陣表----------31

第一章 緒論

精密鑄造可分爲三類，分別是脫蠟法(lost wax casting)、石膏模法(plaster mold casting)與陶瓷殼模法(ceramic mold casting)。脫蠟鑄造法又可分爲兩類，一爲實心模(solid mold)法，一爲陶殼模(ceramic shell mold)法。不論實心模法或陶殼模法都需先製作模具，但實心模法在模具製作時，除了要考慮蠟型的冷凝收縮量外，還要考量鑄模的加熱膨脹係數，和熔融金屬(以下簡稱鐵水)的冷凝收縮量，方可製造出與最終鑄件尺寸相近似的模具。實心模具可用金屬或矽膠製成，模具製作完成後，將融化的蠟質射入模具內，冷卻取出蠟膜稱爲蠟型，將蠟型浸入微粉耐火材料，如鋯粉、鋯沙與粘結劑混泡而成之漿液，取出滴淨使其乾燥，撒佈粗粒耐火材料放入鑄框中，使混練有粘結劑的耐火物粒填滿鑄框，再用高壓蒸汽加熱方式使蠟模融化流出蠟質，就成爲一實心鑄模模型，因此實心模法適用熔點較高的合金鋼等材質。陶殼模法的製作方式和實心模法的製作方式大致相同，不同的是在第一次沾漿和淋砂後，不進行包模，接著再進行多次的沾漿和淋砂，直至獲得預定的外殼厚度後，再用加熱方式使蠟模融化流出蠟質，就成爲陶殼鑄模模型[10]，因此陶殼模法適用於熔點較低溫的非鐵金屬，如鋁合金、銅合金等。本專題研究所探討的精密鑄造公司──台灣僑柏精密鑄造工業股份有限公司(以下簡稱僑柏公司)係使用陶殼模法生產精密鑄件。

在陶殼模法生產精密鑄件製程中，存在有許多的風險，諸如機器裝備長期處於高溫、高壓、高噪音與粉塵中，作業人員則需在此環境中精確與穩定地依據標準作業程序執行作業，稍有不慎都有可能發生工業安全事件；本專題研究首先針對僑柏公司在鑄造過程中每道步驟，進行全面性的評估；其次，檢視此等鑄造步驟相關的機器裝備與作業人員，找出具有危害風險的鑄造步驟；最後，用系統化創新技術(TRIZ)檢視具有危害風險之鑄造步驟，找出發生工業安全問題的癥結，擬訂改善方案，鞏固廠房安全，提升生產績效，增進作業人員福祉。

第二章 僑柏公司精密鑄造製程

2.1 公司簡介

僑柏公司創立於 1990 年，公司位於台中市西屯區工業一路 132 號，如圖 2-1 所示，該公司於 2003 年時通過 ISO9001 品質認證，現有廠房面積 5000 ㎡。主要生產材質不銹鋼、合金鋼、鉬鉻合金鋼、碳鋼、鋁鑄品、銅鑄品等精密鑄造的零件，例如：機械用品、軍需用品以及其他製造業所使用之產品。

僑柏公司的品質政策爲：「僑柏品質管理，保證客戶滿意」，全體員工都將政策形成信念，融入每日實際作業之中，使其成爲一種習慣，因此產品受到客戶的信賴與肯定。

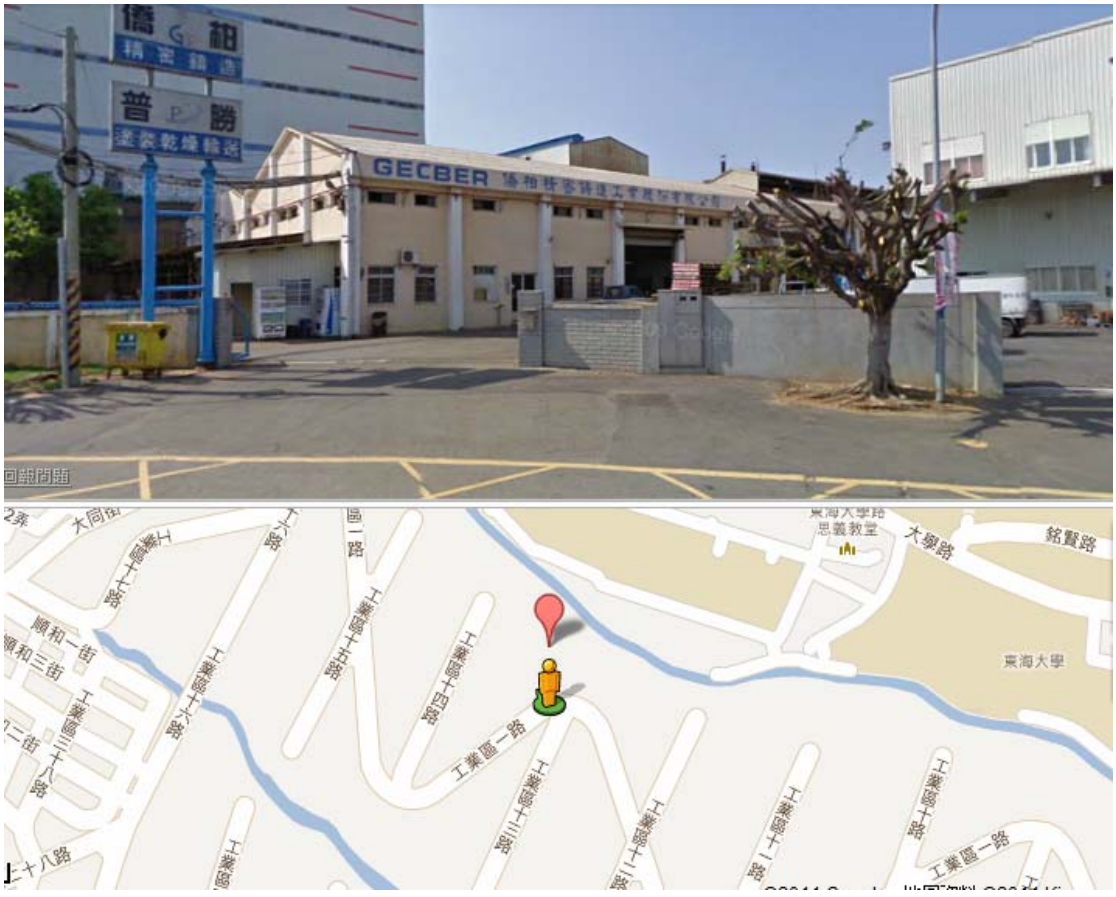


圖 2-1　公司位置圖

2.2 僑柏公司精密鑄造流程

僑柏公司係使用陶殼模法進行精密鑄造，製程有十三道製造步驟，即模具製作、射蠟、組樹、沾漿、敷漿、脫蠟與供蠟、燒結、澆鑄、冷卻、振殼、切串與澆口研磨、噴砂與整修及品質檢驗等，如圖 2-2 所示。

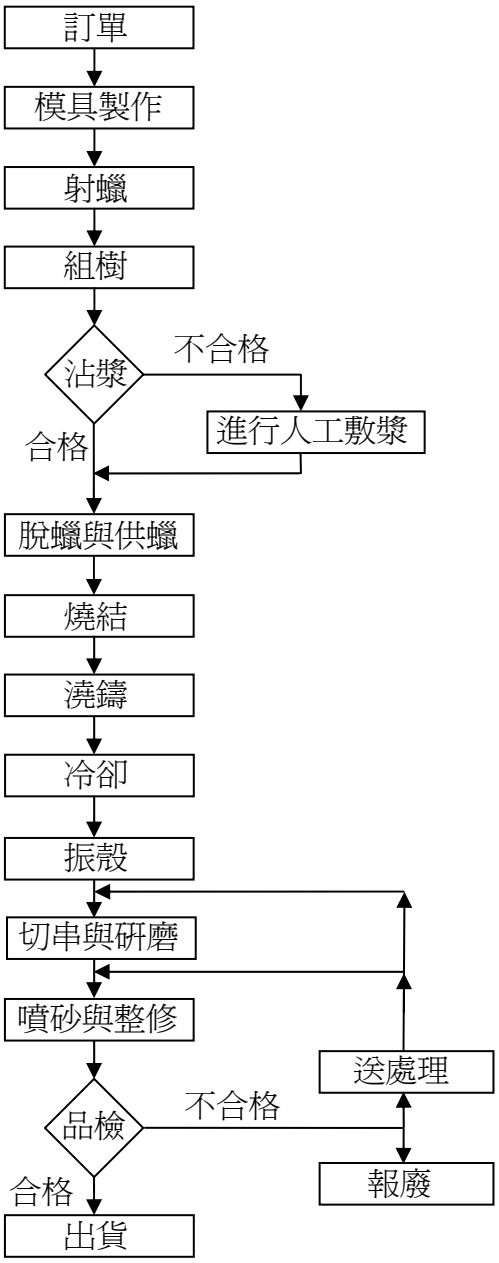


圖 2-2　僑柏公司精密鑄造流程

現將僑柏公司所使用陶殼模法進行精密鑄造之十三道製造步驟，大致與Sias(2005) [1]相同敘述如後。

1.模具製作(mold making)

僑柏公司接收到顧客訂單時，需先查詢此訂單之前是否有做過同樣的產品，若有則使用以前之模具，如果沒有，則需與顧客及模具設計人員討論製作出顧客訂單所需要的模具，如圖 2-3 所示。

模具的製作的目的係要做出外型與最終製品的一致的模型(pattern)，在製作時須考慮模具的加熱膨脹，蠟質特性與鑄造金屬的冷凝收縮。



圖 2-3　依顧客訂單製作模具

2.射蠟(wax injection)

射蠟的動作是將製作完成的模具放置射蠟機器上，並且均勻地注入接近蠟質溶點溫度(60℃)蠟液，不同形狀的模具，就有不同的射蠟方式，注入模具之中稱爲射蠟[13]，如圖 2-4 所示。當蠟液射入模具後，待其凝固，再從模具中取出則稱爲蠟型，如圖 2-5 所示。



圖 2-4　射蠟



圖 2-5　蠟型

3.組樹(wax combining)

從顧客所下的訂單產品形狀，並將射蠟完的單一小零件凝固的蠟型零件，再以人工的方式使用平頭電烙鐵逐一焊接於澆灌道上，接著依照設計人員想出形狀組合成組蠟模型，形狀有如樹的樣子稱爲組樹，如圖 2-6 所示。



圖 2-6　組樹

4.沾漿(fluid dipping)

組樹完成後先以丙酮或酒精洗淨蠟型表面的油脂，接著浸泡於有粘結劑與微粉等耐火材料混合而成之漿液中，從漿液中取出，待滴盡附著於蠟型表面並等待上面的漿液慢慢滴盡，此動作稱爲沾漿，如圖 2-7 所示。



圖 2-7　沾漿

之後再從蠟型表面附著的漿液上淋撒小粒的耐火物粒，這目的係要使蠟型表面能均勻塗漿，不使氣泡附著殘留。如此反覆多次，直至漿液獲得預定的厚度；亦即，陶殼的厚度需視零件的尺寸與重量而定，必須能支撐澆鑄時鐵水的重量與壓力，不致使模殼破裂而定，沾漿後置於室內掛架上，控制溫度與溼度，僑柏公司是以強制送風的方式使其在室內進行乾燥，經乾燥後，原先沾漿的組樹就稱爲塗覆蠟型組樹[9]，如圖 2-8 所示。

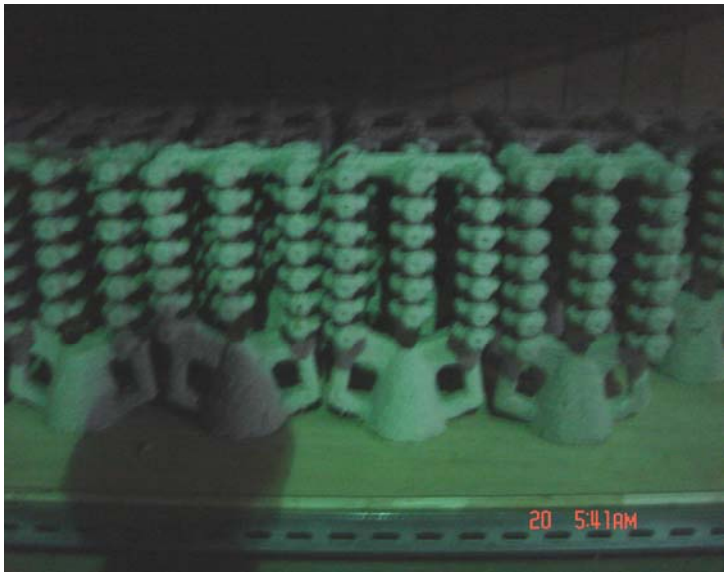


圖 2-8　蠟型組樹

5.敷漿(stucco)

沾漿完後的塗覆蠟型組樹放置於架子上的漿液是自然滴落，在此過程中難免有沾漿不齊全的半成品，經由工作人員挑出來後再由工作人員進行塗漿動作，此過程稱爲敷漿[8]，如圖 2-9 所示，敷漿完後在放置室內掛架上送風進行乾燥。



圖 2-9　敷漿

6.脫蠟與供蠟(dewaxing and wax feeding)

沾漿和敷漿完成的塗覆蠟型組樹內部的蠟質將在燒結步驟前執行脫蠟，脫蠟的步驟系將塗覆蠟型組樹放入脫蠟機內鎖緊，且灌入 175℃的蒸汽並加壓 5.5 kg/cm^2，如圖 2-10 所示。此時附著在塗覆蠟型組樹上的蠟質，因高溫高壓的動作而迅速熔化流出。



圖 2-10　脫蠟機進行脫蠟

而脫蠟後的塗覆蠟型組樹就稱爲一個鑄模模型，因蠟質不會因高溫的蒸汽加壓而變質，因此脫蠟後的蠟質可經供蠟系統回收重複使用，這過程稱爲供蠟，如圖 2-11 所示。



圖 2-11　供蠟系統

7.燒結(sintering)

塗覆蠟模組樹經過高壓蒸汽脫蠟後，模型上仍會含有少量蠟質，因蠟在模型上會造成模型的強度變低。爲了將覆著在組樹上少量的蠟質完全除盡，且提高模型的強度，需將模型放置燒結爐中，用重油進行燒結，如圖 2-12 所示，燒結溫度在 700~1100℃，時間爲 20~60 分鐘，燒結時間的長短需視模型的大小與顧客的要求而訂，經燒結後之鑄模，模型就此定型稱爲鑄模[12]，如圖 2-13 所示。



圖 2-12　燒結爐



圖 2-13　鑄模模型在燒結爐中燒結

8.澆鑄(pouring)

執行澆鑄作業前，工作人員必須先依此批產品材質的金屬錠，置於高週波熔煉爐中融解成鐵水，如圖 2-14 所示。接著以人工將鐵水注入鑄模中，此時作業人員必須穿著防護衣、防護鞋與手套，此過程稱爲澆鑄[11]，如圖 2-15 所示，這樣可使鑄件獲得良好的金相組織。



圖 2-14　高週波爐



圖 2-15　澆鑄

9.冷卻(cooling)

當鑄模注入鐵水後，因鐵水溫度極高必須等鐵水凝固，方可進行振殼的動作，在這段時間必須放置在常溫冷卻箱內進行冷卻，至少需要 2 小時，放置在冷卻箱的目的是要防制雜質飄入鐵水中，如圖 2-16 所示。



圖 2-16　鑄模放置冷卻箱中冷卻

10.振殼(shell removing)

經澆鑄後的鐵水冷卻凝固於鑄模內之後，工作人員將其搬運至振殼機上，將沾漿鑄模外殼震碎，稱爲振殼，留下原先組樹形狀的金屬製品，如圖 2-17 所示。

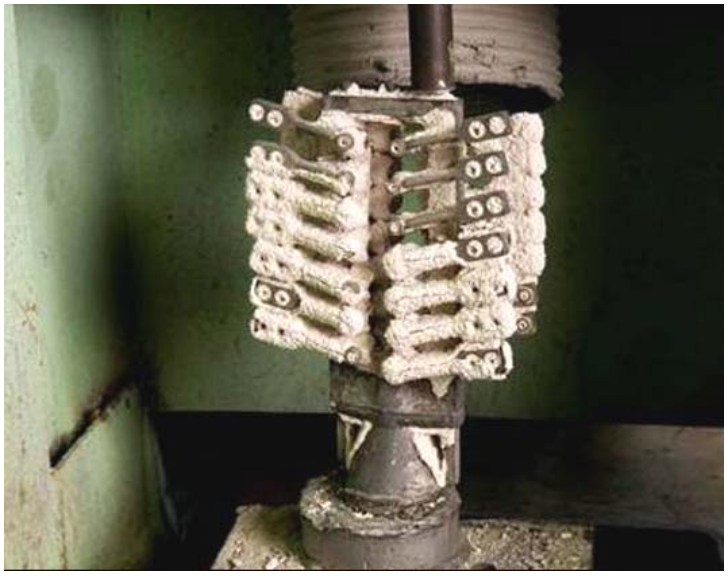


圖 2-17　振殼

11.切串(cutting)與澆口研磨(gate grinding)

由工作人員操作切割機台將組樹形狀的金屬製品附著在澆灌道上的廢料切除，使其成爲原來蠟型的單一零件稱爲切串，如圖 2-18 所示，將切除好的單一零件有開口或毛邊之處，用砂輪機加以磨平，稱爲澆口研磨，如圖 2-19 所示。經澆口研磨後此時的鑄件就稱爲毛胚鑄件(blank cast)。



圖 2-18　切串



圖 2-19　研磨

12.噴砂(sand blasting)與整修(surface finishing)

將毛胚鑄件送入噴砂機執行表面處理，如圖 2-20 所示，因噴砂機和拋光機台大小不一，因此有很多細微的地方是機器整修不到的，此時則以人工方式用細緻的銼刀整修毛邊，使其具備表面光澤，經噴砂與整修後的毛胚鑄件則稱爲鑄造零件。



圖 2-20　噴砂機執行表面處理

13.品質檢驗(quality inspection)

由品管人員先對照顧客訂購需要的零件尺寸與規格，檢驗鑄造零件，再使用材質分析儀將零件執行材質與密度檢驗，如圖 2-21 所示，若是金屬材質檢驗不符，或是材質不均，則將此批產品全部報廢；若檢驗出有零件裂痕，則列入不良品，並且檢查是哪一個步驟沒有處理好(製程 11.切串與澆口磨研和製程 12.噴砂與整修)則送到哪一製程再行加工，最終零件通過檢驗者則可交貨。



圖 2-21 用材質分析儀進行品質檢驗

第三章 精密鑄造風險評估

風險(Risk)這個名詞各個不同的領域都有不同的解釋，財務學者 Philippe Jorion(2007)稱風險爲對資產或負債價值非預期結果之波動[4]；經濟學者 Knight(2009)稱風險爲可測定之不確定性[5]；保險學者 Willett(1951)稱風險爲某種不幸事件發生與否之不確定性，分爲靜態(Static risk)與動態(dynamic risk)兩類[6]；工程出生的學者 Snider(1992)稱風險爲損失之不確定性[7]；綜合以上的論述，可知風險即爲針對某種損失發生之不確定性，有二個要素，即事件發生的嚴重程度與事件發生的機率。

本專題研究依循陶殼模法精密鑄造的十三道製造步驟，使用事件發生的嚴重程度與事件發生的機率兩個指標，對僑柏公司進行風險評估，評定其風險等級。其中事件發生的嚴重程度指標(P_C)，分爲四個等級，分別是非常嚴重、嚴重、稍微有狀況與狀況可忽視，其嚴重程度的相對描述如表 3-1 所示；事件發生的機率指標(P_F)，分爲五個等級，分別爲有可能、可能、偶爾、不太可能與幾乎不可能發生，其相對的發生機率如表 3-2 所示；兩個不同的指標等級愈高，表示事情發生愈是嚴重或是發生的機率愈高。

表 3-1　事情發生的嚴重程度指標分爲四個等級

等級	說明	描述
4	非常嚴重	機器裝備全部損壞或/與作業人員重大傷害
3	嚴重	機器裝備部分損壞或/與作業人員輕爲傷害
2	稍微有狀況	機器裝備不預期停機或/與作業人員受到驚嚇
1	狀況可忽視	機器裝備運作不順或/與作業人員可即時因應

表 3-2　事件發生的機率指標分爲五個等級

等級	說明	發生機率(%)
5	有可能發生	1-0.1
4	可能發生	0.1-0.001
3	偶爾發生	0.001-0.00001
2	不太可能發生	0.00001-0.000001
1	幾乎不可能發生	<0.000001

本專題研究邀請僑柏公司董事長、工程師及部門領班、品管人員及專題指導老師共 12 位，如表 3-3 所示，針對每道製造步驟，於現場機器裝備與作業人員間確實檢討，找出可能發生的事件，再針對這些事件發生的嚴重程度及事件發生的機率分別在四等及五等量表中之評分，如表 3-4 所示。

表 3-3　精密鑄造步驟進行嚴重程度與機率等級評分統計表

填寫人員職稱	人數	權重
董事長	1	25%
工程師	3	15%
部門領班	5	25%
品管人員	2	15%
專題指導老師	1	20%
總合	12	100%

表 3-4　依精密鑄造步驟進行嚴重程度與機率等級評分

步驟	精密鑄造步驟	可能發生的事件	嚴重程度與機率等級評分	
1	模具製作	安裝模具時，手可能會被機器夾傷	嚴重程度	1.□ 2.□ 3.□ 4.□
			機率等級	1.□ 2.□ 3.□ 4.□ 5.□
2	射蠟	模具裝置位置不準，蠟質可能濺到作業人員	嚴重程度	1.□ 2.□ 3.□ 4.□
			機率等級	1.□ 2.□ 3.□ 4.□ 5.□
3	組樹	電烙鐵可能會燙傷手	嚴重程度	1.□ 2.□ 3.□ 4.□
			機率等級	1.□ 2.□ 3.□ 4.□ 5.□
4	沾漿	塗覆蠟型組樹可能會掉落，傷害到作業人員	嚴重程度	1.□ 2.□ 3.□ 4.□
			機率等級	1.□ 2.□ 3.□ 4.□ 5.□
5	敷漿	作業人員可能疏忽敷漿重點位置	嚴重程度	1.□ 2.□ 3.□ 4.□
			機率等級	1.□ 2.□ 3.□ 4.□ 5.□
6	脫蠟與供蠟	熔蠟機器裝備需 24 小時監控溫度作業人員容易燙傷	嚴重程度	1.□ 2.□ 3.□ 4.□
			機率等級	1.□ 2.□ 3.□ 4.□ 5.□
7	燒結	燒結爐高溫，作業恐有危險	嚴重程度	1.□ 2.□ 3.□ 4.□
			機率等級	1.□ 2.□ 3.□ 4.□ 5.□
8	澆鑄	鐵水澆鑄在鑄模中作業需很精準，但鐵水仍有可能濺出	嚴重程度	1.□ 2.□ 3.□ 4.□
			機率等級	1.□ 2.□ 3.□ 4.□ 5.□
9	冷卻	注入鐵水之鑄模移置冷卻箱時，可能有雜質飄入鐵水中	嚴重程度	1.□ 2.□ 3.□ 4.□
			機率等級	1.□ 2.□ 3.□ 4.□ 5.□
10	振殼	產生極大噪音	嚴重程度	1.□ 2.□ 3.□ 4.□
			機率等級	1.□ 2.□ 3.□ 4.□ 5.□
11	切串與澆口研磨	切割機切除磨料時火花會飛濺	嚴重程度	1.□ 2.□ 3.□ 4.□
			機率等級	1.□ 2.□ 3.□ 4.□ 5.□
12	噴砂與整修	噴砂產生粉塵，研磨可能割傷	嚴重程度	1.□ 2.□ 3.□ 4.□
			機率等級	1.□ 2.□ 3.□ 4.□ 5.□
13	品質檢驗	品質檢驗可能會產生誤差	嚴重程度	1.□ 2.□ 3.□ 4.□
			機率等級	1.□ 2.□ 3.□ 4.□ 5.□

當得事件發生的嚴重程度及事件發生的機率分別在四等及五等量表中之評分後，接下來就要分別計算出事件發生的機率指標(P_F)與事件發生的嚴重程度指標(P_C)，再將此兩指標整合成綜合風險指標(P_T)，如表 3-5 與 3-6 所示，以綜合風險指標來找出精密鑄造十三道製造步驟中，具有危害風險之步驟。

本專題研究計算綜合風險指標(P_T)係由(1)式所計算，計算後之結果亦置入表 3-6 綜合風險指標(P_T)欄。

$$P_T = \sqrt{P_C^2 + P_F^2} \tag{1}$$

式中

$$P_C = \frac{\mu_C - \min}{R_C} \tag{2}$$

$$P_F = \frac{\mu_F - \min}{R_F} \tag{3}$$

其中 P_T 爲綜合風險指標，其值爲 0 至 1.414 之間

P_C 爲事件發生嚴重程度指標

P_F 爲事件發生機率指標

μ_C 爲評定出事件發生的嚴重程度等級在四等量表中之評分

μ_F 爲評定出事件發生的機率等級在五等量表中之評分

min 爲 k 等量表最小值，訂定爲 1

R_C 與 R_F 爲 k 等量表之全距減 1，即爲 $R_C = 3$， $R_F = 4$

表 3-5　本專題研究邀請僑柏公司董事長、工程師及部門領班、品管人員及專題指導老師評分後計算 μ_C 與 μ_F

		董事長	工程師1	工程師2	工程師3	部門領班1	部門領班2	部門領班3	部門領班4	部門領班5	品管人員1	品管人員2	專題老師	Total
權重		25%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	7.5%	7.5%	20%	100%
步驟 1	嚴重程度等級 μ_C	1	2	2	2	4	1	1	1	2	2	2	1	1.5
	機率等級 μ_F	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1.3
步驟 2	嚴重程度等級 μ_C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1.2
	機率等級 μ_F	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.3
步驟 3	嚴重程度等級 μ_C	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1.2
	機率等級 μ_F	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1.1
步驟 4	嚴重程度等級 μ_C	1	2	1	2	1	2	2	2	2	1	1	2	1.5
	機率等級 μ_F	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1.2
步驟 5	嚴重程度等級 μ_C	1	2	1	1	1	3	1	1	2	1	1	2	1.4
	機率等級 μ_F	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1.1
步驟 6	嚴重程度等級 μ_C	2	4	3	4	4	2	4	3	3	3	3	1	2.5
	機率等級 μ_F	2	5	2	4	4	2	4	3	2	2	2	4	2.9
步驟 7	嚴重程度等級 μ_C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1.2
	機率等級 μ_F	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1.7
步驟 8	嚴重程度等級 μ_C	2	3	4	3	4	2	2	3	3	3	2	1	2.3
	機率等級 μ_F	2	5	5	5	4	2	2	5	3	3	3	1	2.7
步驟 9	嚴重程度等級 μ_C	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1.1
	機率等級 μ_F	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.3

步驟 10	嚴重程度等級 μ_C	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1.5
	機率等級 μ_F	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1.1
步驟 11	嚴重程度等級 μ_C	1	1	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1.3
	機率等級 μ_F	1	1	1	1	5	1	5	2	2	1	1	1	1.5
步驟 12	嚴重程度等級 μ_C	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1.1
	機率等級 μ_F	1	1	1	1	2	1	5	1	2	1	1	1	1.3
步驟 13	嚴重程度等級 μ_C	1	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1.2
	機率等級 μ_F	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1.1

表 3-6　精密鑄造步驟可能發生的事件經評定後嚴重程度、機率等級與綜合風險指標

步驟	精密鑄造步驟	可能發生的事件	嚴重程度等級 (μ_C)	機率等級 (μ_F)	綜合風險指標 (P_T)
1	模具製作	安裝模具時，手可能會被機器夾傷	1.5	1.3	0.18
2	射蠟	模具裝置位置不準，蠟質可能濺到作業人員	1.2	1.3	0.10
3	組樹	電烙鐵可能會燙傷手	1.2	1.1	0.07
4	沾漿	塗覆蠟型組樹可能會掉落，傷害到作業人員	1.5	1.2	0.17
5	敷漿	作業人員可能疏忽敷漿重點位置	1.4	1.1	0.14
6	脫蠟與供蠟	熔蠟機器裝備需 24 小時監控溫度作業人員容易燙傷	2.5	2.9	0.69
7	燒結	燒結爐高溫，作業恐有危險	1.2	1.7	0.19
8	澆鑄	鐵水澆鑄在鑄模中作業需很精準，但鐵水仍有可能濺出	2.3	2.7	0.61
9	冷卻	注入鐵水之鑄模移置冷卻箱時，可能有雜質飄入鐵水中	1.1	1.3	0.08
10	振殼	產生極大噪音	1.5	1.1	0.17
11	切串與澆口研磨	切割機切除磨料時火花會飛濺	1.3	1.5	0.16

12	噴砂與整修	噴砂產生粉塵，研磨可能割傷	1.1	1.3	0.08
13	品質檢驗	品質檢驗可能會產生誤差	1.2	1.1	0.07

接著依據綜合風險指標P_T的值，將綜合風險指標區分爲A至E五個區域，分別是 [1.00, 1.414]屬A區，[0.75 , 1.00]屬B區，[0.50 , 0.75]屬C區，[0.25 , 0.5]屬D區，[0 , 0.25]屬E區。由於綜合風險標係由事件發生機率指標(P_F)與事件發生嚴重程度指標(P_C)所組成，用此兩指標一個當橫軸，一個當縱軸，就可繪製成棒球場分析圖，左下角本壘座標爲(0, 0)，右上角最大外野座標爲(1, 1)。從A至E五個區所代表的意思是，A區爲最高風險區，若事件落點在此，需花費絕對的資源進行改善；B區爲高度風險區，若事件發生在此，需花費重要的資源進行改善；C區爲中度風險區，若事件落點在此，需加注資源加以改善；D區爲低度風險區，屬於需要隨時多加關注的可接受範圍；E區爲幾乎無風險區。現將精密鑄造十三道製造步驟事件發生嚴重程度指標值與事件發生機率指標值置入棒球場分析圖中，如圖 3-1 所示。

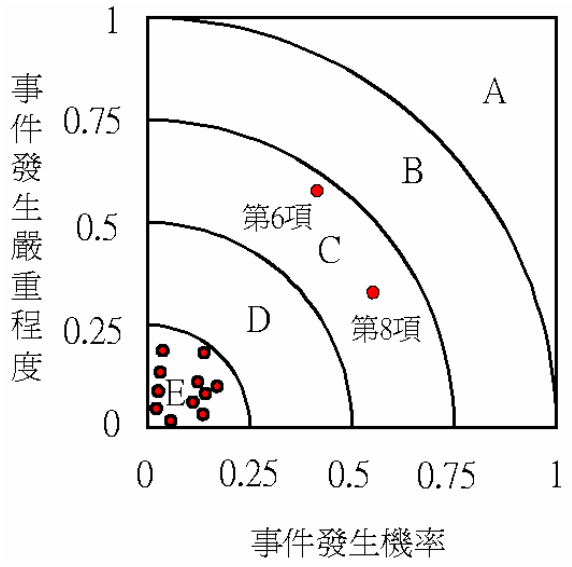


圖 3-1　棒球場分析圖

由圖 3-1 得知，精密鑄造十三道製造步驟中有兩個步驟，分別是步驟 6 脫蠟與供蠟及步驟第 8 澆鑄，落在具有中度風險的 C 區，這兩個步驟就稱爲具有危害風險之鑄造步驟。針對這兩個具危害風險之鑄造步驟，本專題研究將以系統化創新技術(TRIZ)檢視此等鑄造步驟相關的機器裝備與作業人員的操作，找出降低風險的癥結，強化改善方案。

第四章 針對具危害風險步驟以系統化創新技術(TRIZ)進行改善

經由精密鑄造風險評估得知，在十三道製造步驟中有兩個步驟，分別是步驟 6 脫蠟與供蠟及步驟 8 澆鑄爲具有危害風險之鑄造步驟，本節將針對這兩道鑄造步驟，用系統化創新技術(TRIZ)[2]檢視這兩鑄造步驟可能發生工業安全問題的癥結，強化改善方案。

系統化創新技術 TRIZ 是俄文 Teoriya Resheniya lzobreatatelskikh Zadatch 字首的縮寫，英譯爲 Theory of inventive problem solving，中文直譯爲發明性問題解決理論，簡稱萃思，其意爲萃取思考，是由前蘇聯專利研究員 Genrich Altshuller

及其研究團隊再 1946 年，分析數二十萬筆發明專利的特性與歸納創新的層級類別，所整理出來的系統化創新技術。

本專題研究使用(TRIZ)工具之前先瞭解精密鑄造十三道製造步驟的工作方法，接著在探討(TRIZ)各種工具的使用限制，然後從工作中瞭解有什麼危險狀況與人為疏忽的地方，最後使用(TRIZ)工具來擬定改善方案。針對第六道脫蠟與供蠟，供蠟系統是 24 小時運作但決不許發生危險；第八道澆鑄在澆灌鑄模時，火焰會噴出與鐵水溢出的危險。在這兩道鑄造步驟的危險使用(TRIZ)工具來解題，針對第六道脫蠟與供蠟加裝一個溫度控制來鞏固廠房安全；針對第八道澆鑄的危險加裝一個蓋子，以保護機器設備與作業人員，現分別敘訴如後。

4.1 針對脫蠟與供蠟步驟進行改善

脫蠟係將塗覆蠟型組樹放入脫蠟機內，灌入 175℃的蒸汽並加壓至 5.5kg/cm^2，此時蠟質即迅速熔化流出，流出之蠟質含有水份，在精密鑄造過程中，蠟質是需要回收的，但回收的蠟質不能有水分，所以回收的蠟質必須經過三個階段的處理，蠟質才能再次利用稱為供蠟；第一階段處理係將脫蠟後的蠟質注入攪拌桶，攪拌桶的溫度需維持在 125℃，24 小時加熱攪拌，為了要讓水蒸汽完全蒸發完畢，脫蠟後的蠟質需攪拌 5~6 小時；第二階段處理係將攪拌桶中的蠟質輸送至靜置桶中等待使用，靜置桶需保持 24 小時恆溫於 80℃；第三階段處理係待儲蠟桶需要蠟質時，就要將靜置桶的蠟質輸送至儲蠟桶中，儲蠟桶的溫度要保持在比蠟質溶解溫度 60℃稍微高一點的溫度，其目的是要使蠟質射入模具中時，剛

好維持在蠟的溶解溫度，使蠟質的收縮率降至最低；目前僑柏公司在攪拌桶、靜置桶與儲蠟桶皆裝置溫度計來檢測溫度。

在脫蠟與供蠟步驟中，於供蠟時有三處熔蠟機器必需 24 小時恆溫監控，若溫度稍有變化都對廠房的安全與產品的品質影響甚鉅，本專題研究將針對「三處熔蠟機器需 24 小時恆溫監控，又需顧及廠房安全與供蠟品質」這物理矛盾求解。將此問題對應到物理矛盾的時間分離、空間分離、條件分離或構造分離等四項分離原則，發現係屬於條件分離，所建立的物理矛盾矩陣表，如表 4-1 所示。

表 4-1　脫蠟與供蠟步驟進行改善建立物理矛盾矩陣

關鍵危害項目	TRIZ 創新原理	說明	找出需解決問題的方案
三處熔蠟機器需 24 小時恆溫監控，又需顧及廠房安全與供蠟品質	32	改變顏色原理	分別於攪拌桶、靜置桶與儲蠟桶內部上方張貼溫度感應貼紙，作業人員可由三處熔蠟桶的透明玻璃觀察得知溫度是否正常與蠟質的品質
	35	性質轉變原理	將供蠟系統的改變可吸收熱力轉變成電力的功能與溫度感應裝置，如溫度超過 60℃立即啓動降溫裝置或是溫度上升到 80℃時，馬上停止機器運作
	36	相變化原理	加裝熱力轉換儲備裝置，然後使用三

			換裝置裡供應機器使用，如溫度過高立即啓動降溫裝置，反之，則需檢查蠟質是否有問題
	39	鈍性環境原理	在三處熔蠟桶加裝惰性氣體供應器與溫度偵測裝置，可以讓蠟質在穩定氣體中持續加工，如三處熔蠟桶有一處溫度異常立即停止機器運作

針對表 4-1 物理矛盾矩陣，有四種創新原理可提供使用，改善方案如下：

1. 第 32「改變顏色原理」原理說明：改變物體或系統的顏色，以增加系統的價值或偵測問題。針對此原理找出問題解決的方案爲「分別於攪拌桶、靜置桶與儲蠟桶內部上方張貼溫度感應貼紙，作業人員可由三處熔蠟桶的透明玻璃觀察得知溫度是否正常與蠟質的品質，如圖 4-1 所示。」

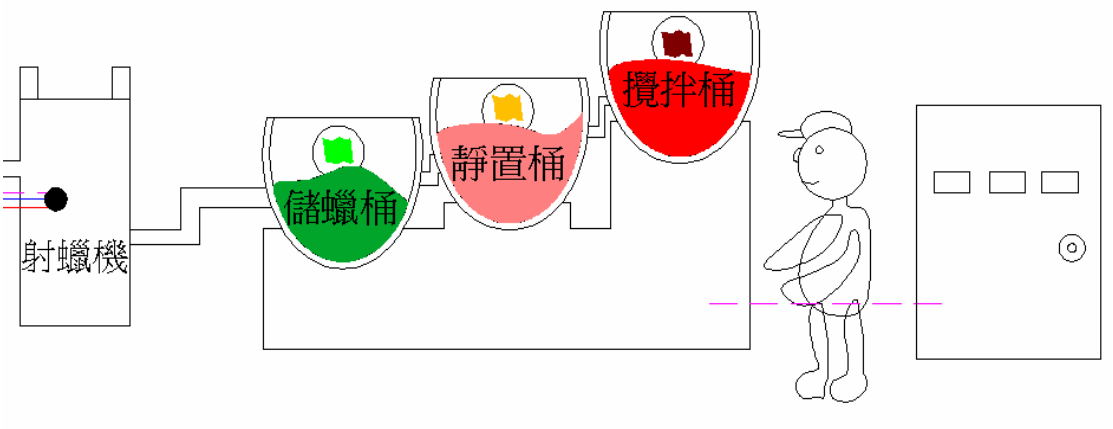


圖 4-1　感應貼紙

2. 第 35「性質轉變原理」原理說明：改變物體或系統中的性質，以產生系統好處。針對此原理找出問題解決的方案爲「將供蠟系統的改變可吸收熱力轉變成電力的功能與溫度感應裝置，如溫度超過 60℃立即啓動降溫裝置或是溫度上升到 80℃時，馬上停止機器運作，如圖 4-2 所示。」

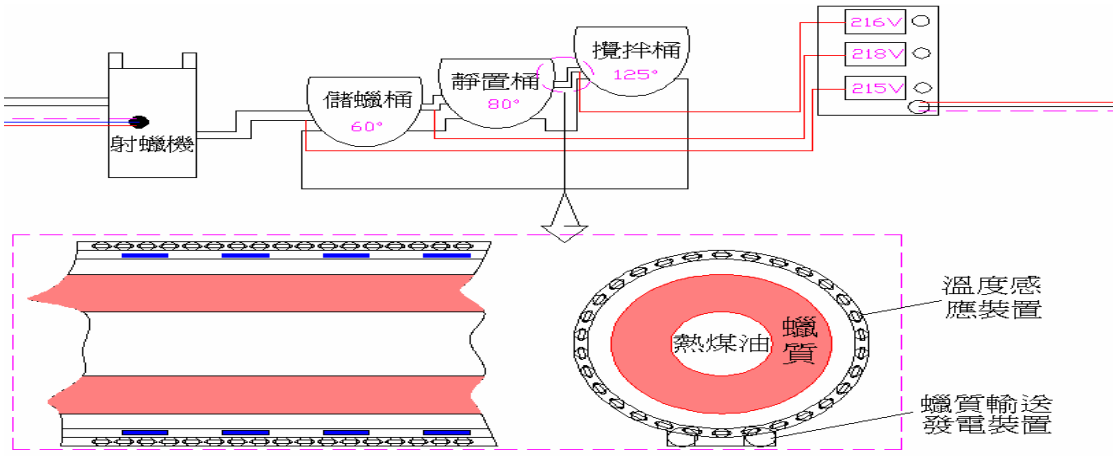


圖 4-2　蠟質輸送發電裝置

3. 第 36「相變化原理」原理說明：利用材料或狀況的相改變，以產生作用或改變系統。針對此原理找出問題解決的方案爲「加裝熱力轉換儲備裝置，然後使用三處熔蠟桶的熱力轉變成電力儲存在轉換裝置裡供應機器使用，如溫度過高立即啓動降溫裝置，反之，則需檢查蠟質是否有問題，如圖 4-3 所示。」

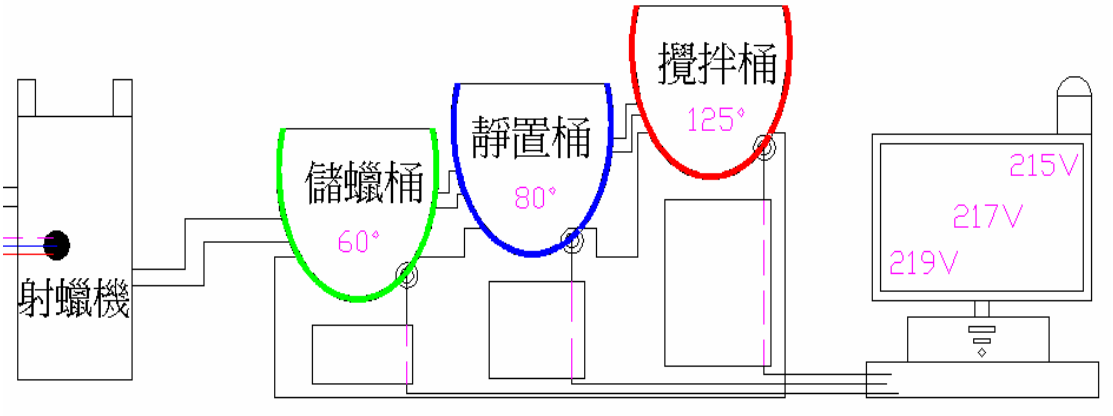


圖 4-3　熱力轉換儲備裝置

4. 第 39「鈍性環境原理」原理說明：產生一種中性(鈍性)的氛圍或環境，以支援所想要達成的機能。針對此原理找出問題解決的方案爲「在三處熔蠟桶加裝惰性氣體供應器與溫度偵測裝置，可以讓蠟質在穩定氣體中持續加工，如三處熔蠟桶有一處溫度異常立即停止機器運作，如圖 4-4 所示。」

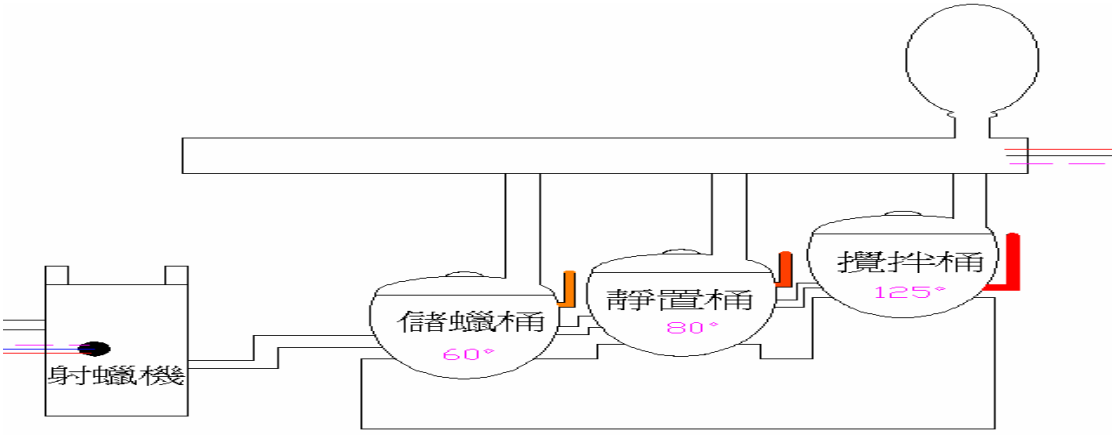


圖 4-4　惰性氣體供應器

5. 其他第 12、13、28、31、38 與 40 等六種創新原理，對問題的改善沒有明顯的特性，故不採用。

當由物理矛盾矩陣解決「三處熔蠟機器需 24 小時恆溫監控，又需顧及廠房安全與供蠟品質」問題後，又衍生出「三處熔蠟機器皆 24 小時供電，且在高溫下決不容許發生火災」的技術矛盾的問題，因此本專題研究再用技術矛盾求解。

1. 面對「三處熔蠟機器皆 24 小時供電」問題，可在 39 項工程參數中找到產生系統矛盾的特性。
2. 其中希望改善的參數爲第 13 項「穩定性」; 希望不變壞的參數爲第 30 項「作用於物體的有害因素」。
3. 建立矛盾矩陣如表 4-2 所示。

表 4-2　三處熔蠟機器皆 24 小時供電，且在高溫下決不容許發生火災矛盾矩陣

不希望變壞的參數 / 希望改善的參數		作用於物體的有害因素
		第 30 項
穩定性	第 13 項	35 23 18 30

4. 在表 4-2 技術矛盾矩陣，可採用的創新原理有第 35、23、18、30 等四種。
5. 針對上述四種創新原理找出解決問題的方案如下：

(1) 第 35「性質轉變原理」說明：改變物體或系統中的性質，以產生系統好處。針對此原理找出問題解決方案爲「改變三處熔蠟機器材質可吸收熱力轉換成電力，然後分別在三處熔蠟機器加裝穩壓器，可避免白天與夜

間供電電壓不穩定的問題，以及加裝電流過飽和裝置，預有電路電流異常立即斷電，如圖 4-5 所示。」

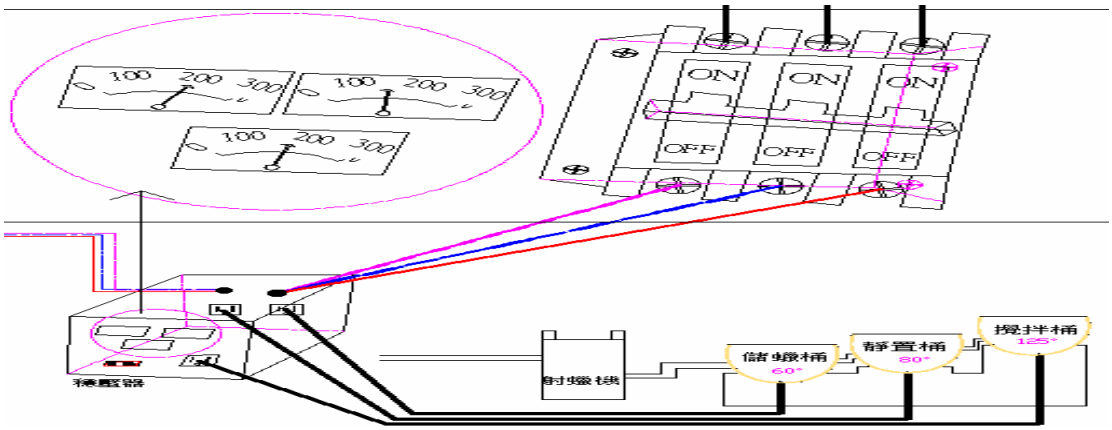


圖 4-5　熱轉電熔蠟機器

(2) 第 23「回饋原理」說明：將系統的輸出轉回系統內部作爲輸入，可改進輸出的控制。針對此原理找出解決方案爲「加裝旋轉發電降溫裝置，利用攪拌桶的旋轉來發電，若溫度過高立即啓動降溫裝置與保持電壓穩定，如圖 4-6 所示。」

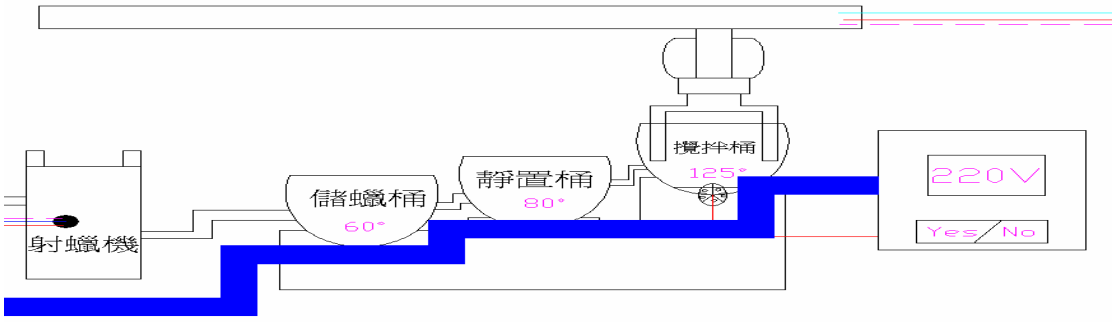


圖 4-6　旋轉發電降溫裝置

(3) 其他第 18 與 30 兩種創新原理，對問題的改善沒有明顯的特性，故不採用。

4.2 針對澆鑄步驟進行改善

作業人員使用手柄工具將 1100~1200℃的燒結爐中取出鑄模，此時鑄模已燒紅成透明狀，將鑄模移至澆鑄區，再從高週波熔煉爐中以人工方式注入鐵水於鑄模中進行澆鑄。在澆鑄作業時作業人員必須穿厚重的防護衣，著防護鞋與手套，作業必須迅速精準，澆鑄後再送至冷卻箱中冷卻，放置冷卻箱中冷卻的目的，是要使鑄模隔絕空氣，防止氧化，保持產品凝固時之精密度與光澤。本專題研究將針對澆鑄步驟中火焰噴濺或是鐵水溢出造成的危險進行改善。

在這步驟中剛好滿足三個基本概念，即物質、場與其交互作用，適合使用物質-場分析來求解[14]，因爲澆鑄的過程中，高週波熔煉爐需要使用高熱來熔化金屬錠成爲鐵水，但在澆鑄過程中，鐵水一定會有火焰噴濺，噴濺的火焰對作業人員會產生危害風險，其澆鑄過程危害風險物質-場模型，如圖 4-7 所示。

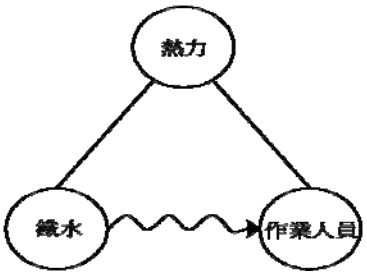


圖 4-7　澆鑄過程危害風險物質-場模型

針對圖 4-7 澆鑄過程危害風險物質-場模型所產生之危害，只要外加一有力效果即可解決，亦即在高週波熔煉爐上加裝一弧形遮罩隔離，如圖 4-8 所示，這樣以人工方式注入鐵水時，火焰就不會噴濺到作業人員而降低風險，改善後之澆鑄過程物質-場模型，如圖 4-9 所示。

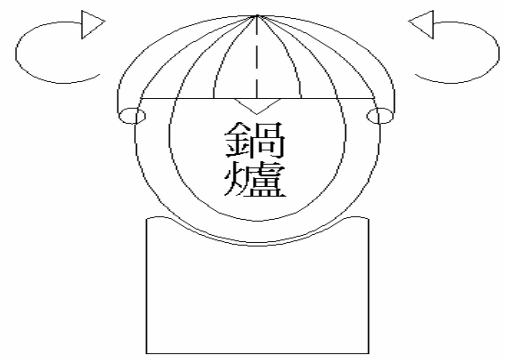


圖 4-8　弧形遮罩

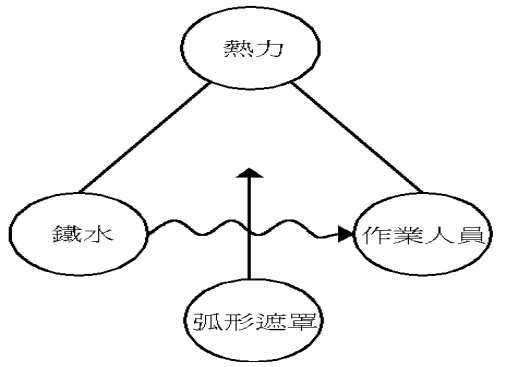


圖 4-9　改善後澆鑄過程物質-場模型

使用物質-場模型加裝一弧形遮罩隔離，對作業人員產生的危害做出了改善，但卻留下在高週波熔煉爐上加裝一弧形遮罩，造成作業上的複雜度問題，針對這衍生增加作業複雜度的技術矛盾問題，再用技術矛盾予以解決，步驟如下[3]。

1. 面對「在高週波熔煉爐上加裝一弧形遮罩，造成使用上的複雜度」問題，可在 39 項工程參數中找到產生系統矛盾的特性。
2. 其中希望改善的參數爲第 36 項「系統的複雜性」；希望不變壞的參數爲第 33 項「操作流程的方便性」。
3. 建立矛盾矩陣如表 4-3 所示。
4. 在表 4-3 矛盾矩陣中，可採用的創新原理有第 27、09、26 與 24 四種。
5. 針對上述四種創新原理找出解決問題的方案：

表 4-3　加裝弧形遮罩造成使用上複雜度之矛盾矩陣表

不希望變壞的參數 / 希望改善的參數		操作流程的方便性
		第 33 項
系統的複雜性	第 36 項	27 09 26 24

(4) 第 27「可拋棄式原理」說明：使用較便宜、簡單或更易處理的物體，降低成品、增加方便性、提升使用壽命等。針對此原理找出解決方案爲「將高週波爐改成茶壺型高週波爐與加裝容量感應器，如沒有鐵水時感應器會響鈴提示，如圖 4-10 所示。」

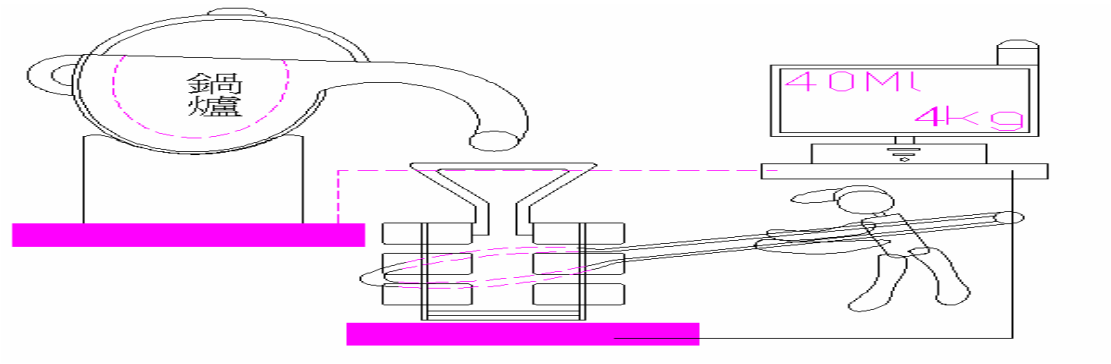


圖 4-10　茶壺型高週波爐

(5) 第 26「複製原理」說明：利用複製品或模型取代珍貴的東西。針對此原理找出解決方案爲「使用廢棄金屬製作簡易型的金屬射入器，接著加裝空氣壓縮機與電子大磅秤可得知鐵水的容量，然後利用空氣壓縮機壓縮空氣，再將空氣傳送到管路讓鐵水注入鑄模，如圖 4-11 所示。」

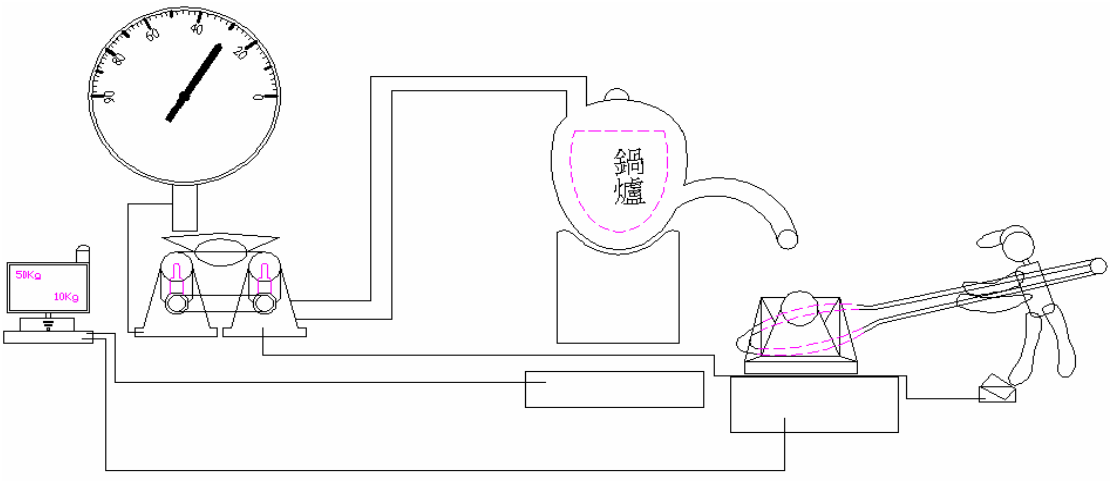


圖 4-11　簡易金屬射入機器

(6) 其他第 09「事先反向作用原理」與第 24「中介物質原理」，因對問題的改善沒有明顯的特性，故不採用。

第五章 結論

本專題研究係針對僑柏精密鑄造公司所做的實務研究，在精密鑄造的製程中，存在有許多的風險，本專題研究使用風險構成之兩個要素，即事件發生的嚴重程度與事件發生的機率當成兩個指標，評定十三道製造步驟之風險等級，再將此兩個要素之風險等級整合成綜合風險指標，依照綜合風險指標的值在棒球場分析圖中的落點，得知具有危害風險之鑄造步驟爲步驟 6 脫蠟與供蠟及步驟 8 澆鑄。

針對步驟 6 脫蠟與供蠟及步驟 8 澆鑄，本專題研究再用系統化創新技術(TRIZ)強化其改善方案，找出這兩個步驟相關的機器裝備與作業人員可能會發生工業安全問題的癥結。在步驟 6 脫蠟與供蠟中系同時使用物理矛盾與技術矛盾同時改善，物理矛盾改善的方法爲增加感應貼紙、蠟質輸送發電裝置、熱力轉換儲備裝置與惰性氣體供應器；技術矛盾改善方法爲熱轉電熔蠟機器與旋轉發電降溫裝置。在步驟 8 澆鑄中先使用物質–場分析改善再使用技術矛盾強固，物質–場分析改善的方法爲加裝弧形遮罩，但加裝弧形遮罩後又衍生出造成工作人員作業複雜度，再使用技術矛盾強固，改善的方法爲改用茶壺型高週波爐與簡易金屬射入機器。經由步驟 6 與步驟 8 之改善，僑柏公司可鞏固廠房安全，提升生產績效，增進作業人員的福祉。

參考文獻

[1] Sias F. R., (2005) Lost-Wax Casting: Old, New, and Inexpensive Methods, Woodsmere Press

[2] Altshuller G., (1996) Form And Suddenly the Inventor Appeared: TRIZ, the Theory of Inventive Problem Solving, Natalie Dronova Uri Urmanchev.

[3] Hsia, T. C., Huang, S. C. and Chen, H. T. (2011). " Enhancing the Writing Quality of Aircraft Maintenance Technical Orders and Establishing a Management Mechanism for Maintenance Technicians using the Six Sigma Process," In David E. Malach (eds), Advances in Mechanical Engineering Research. Volume 3, Nova Science Publishers, Inc.,

[4] Jorion P., (2007) Financial Risk Manager Handbook, John Wiley & Sons Inc.

[5] Knight, F. H., (2009) Risk, Uncertainty, and Profit, Signalman Publishing.

[6] Willett A. H., (1951) The Economic Theory of Risk and Insurance, Richard Irwin, Illinois.

[7]H. Wayne Snider, Ph. D., 1992, On the cost of risk survey, Temple University.

[8]http://www.me.tnu.edu.tw/study/proj/proj90/90-51%BA%EB%B1K%A5]%BC%D2%C5%B1%B3y%A4%A7%AF%CA%B3%B4%A4%C0%AAR.pdf

[9] http://elearning.stut.edu.tw/m_facture/ch3.htm

[10] 機械製造　出版社:全華科技圖書股份有限公司 作者:孟繼洛

[11] 鑄造學　　出版社:全華科技圖書股份有限公司 作者:張晉昌

[12] 鑄造學　　出版社:文京圖書有限公司　作者:黃新春

[13] 鑄造工程實習集錦 出版社:新科技書　　作者:張應吉

[14] TRIZ 入門與實踐 出版社:科學出版社　作者:趙敏、史曉凌、段海波