

鎂合金成型產業資源化應用技術手冊

中華民國九十五年七月

鎂合金成型產業 資源化應用技術手冊

經濟部工業局 編著
財團法人台灣綠色生產力基金會

出版機關：  經濟部工業局

出版日期：中華民國 95 年 7 月

序

鎂合金具輕量化及減振效果，甚受市場歡迎，主要應用於機殼/構件，除了汽車輕量化之外，以筆記型電腦、手機、電子/3C 產品及需要講求輕量化的資訊產品為主，各種新的應用產品亦陸續出現，且應用比率逐漸增加中。我國鎂合金成型產業在筆記型電腦機殼及內構件市場的帶動下，引發各界大力的投入，發展迅速，如何進行廢棄物減量及資源回收再利用，以達到環境保護與經濟發展兼籌並重的目標，成為該產業發展之重要課題。

有鑑於此，本局特委託財團法人台灣綠色生產力基金會廣泛蒐集國內外相關資源化技術資料，並彙整編印成冊。本手冊內容共分七章，分別針對「產業概況」、「廢棄物特性與清理現況」、「清潔生產」、「廢棄物資源化技術」、「技術評估與設備選用程序」等面向進行探討說明，並將各類廢棄物資源化之實際執行情形彙整成「廢棄物資源化案例」，冀能提供相關業者從中汲取經驗，並作為學術研究單位及相關工程業界研究開發之參考，俾利共同促進該產業廢棄物資源化技術之落實與應用，進以開創資源永續利用。

本手冊編撰過程，感謝工研院材化所蔡幸甫顧問、邱垂泓工程師、工研院能環所關家倫副研究員、葉莉雯副研究員、台灣科技大學化學工程研究所王文裕先生、敬得科技公司林添發副總經理、傑出材料科技公司許光良副理等參與資料蒐集及編撰；工研院能環所鄭智和經理、台灣鎂合金協會鄭百川理事長以及台灣大學機械系陳復國教授等之審訂，使本手冊得以付梓。由於時間匆促，且實務資料之蒐集彙整不易，內容如有錯誤漏植之處，尚祈各界不吝指正。

經濟部工業局 謹識
中華民國九十五年七月

目 錄

第一章 前言	1
1.1 緣起	1
1.2 技術手冊內容說明	2
第二章 產業概況	3
2.1 產業現況	3
2.2 製程概述	12
第三章 廢棄物特性與清理現況	17
3.1 廢棄物來源及特性	17
3.2 廢棄物產生量及清理現況	24
第四章 清潔生產	32
4.1 環境化設計	32
4.2 廠內管理	41
第五章 廢棄物資源化技術	46
5.1 廢潤滑油資源化技術	46
5.2 鎂廢料（1~4 級）資源化技術	54
5.3 鎂屑（5 級）資源化技術	64
5.4 鎂渣（6 級）資源化技術	68
第六章 技術評估與設備選用程序	70
6.1 資源化技術評估流程	70

6.2 資源化設備選用程序	72
6.3 資源化成本分析	79
第七章 廢棄物資源化案例	82
7.1 廢潤滑油資源化技術案例	82
7.2 鎂廢料（1~4 級）資源化案例	85
7.3 鎂屑（5 級）資源化案例	94
7.4 鎂渣（6 級）資源化案例	97
名詞解釋	99
參考文獻	103
單位換算表	105
索引	109

圖 目 錄

圖 2.1 我國鎂合金成型產業的產業結構	10
圖 2.2 鎂合金壓鑄法原理示意圖	13
圖 2.3 鎂合金壓鑄及半熔融的製造流程示意圖	13
圖 2.4 鎂合金半熔融射出成型法原理	15
圖 3.1 鎂合金廢棄物（1，2，3 級）貯存桶	18
圖 3.2 鎂合金廢棄物 1A（左圖）及 1B.....	19
圖 3.3 各種不同類型的噴漆及塗裝廢料（第三級）	20
圖 3.4 含有切削油之加工屑廢料（第五級，5B）	21
圖 3.5 第六級廢棄物（沉渣或浮渣）在儲渣桶製成塊狀後外觀	23
圖 3.6 Al-Mn 二元相圖	25
圖 3.7 鎂鋁錳之三元相圖（670℃）	25
圖 3.8 鎂回收產生的廢渣外觀	26
圖 4.1 主要鎂合金成型工法	33
圖 4.2 鎂合金壓鑄成型流程圖	33
圖 4.3 鑄件毛邊問題改善前後之差異	38
圖 4.4 合模機之外觀	38
圖 4.5 鎂合金防蝕表面處理流程圖	39
圖 4.6 新型陽極防蝕處理生產線	41
圖 4.7 鎂合金作業中之災害發生分佈（日本）	42
圖 4.8 鎂合金成型業者之消防準備例	43
圖 4.9 鎂燃燒火災之消防演練	43
圖 5.1 酸—白土法回收處理廢潤滑油流程	47
圖 5.2 溶劑萃取法回收處理廢潤滑油流程	48

圖 5.3 蒸餾法回收處理廢潤滑油流程	48
圖 5.4 低溫批次廢潤滑油回收處理流程	52
圖 5.5 壓鑄生產過程鎂料使用率	54
圖 5.6 單爐坩鍋爐精煉示意圖	57
圖 5.7 單爐坩鍋爐精煉流程圖	58
圖 5.8 鹽床精煉法示意圖	58
圖 5.9 雙槽過濾法示意圖	60
圖 5.10 氣泡除渣法示意圖	60
圖 5.11 熔湯過濾法示意圖	61
圖 5.12 減壓過濾法示意圖	61
圖 5.13 真空蒸餾法示意圖	62
圖 5.14 輕合金機械加工屑回收重熔機之示意圖	65
圖 5.15 鎂合金加工屑 (5A)	65
圖 5.16 加工屑 (5B) 回收流程圖	66
圖 5.17 加工屑 (5B) 外觀	67
圖 5.18 使用加熱方法去除切削油的重量損失與時間關係圖	68
圖 5.19 第 6 級廢料處理示意圖	69
圖 6.1 資源化系統規劃評估實驗流程	71
圖 6.2 資源化設備評估流程	73
圖 7.1 美國加州舊金山灣 Evergreen 廢潤滑油再生工廠處理流程	83
圖 7.2 鎂合金精煉爐外觀	85
圖 7.3 鎂合金精煉爐尺寸圖	85
圖 7.4 攪拌機外觀圖	86
圖 7.5 製錠機外觀圖	86

圖 7.6 HMNIAM 示意圖	87
圖 7.7 K-Mould 示意圖	88
圖 7.8 不純物檢測流程圖	92
圖 7.9 X 廠商鑄錠外觀.....	92
圖 7.10 X 廠商回收錠之 K-Mould 破斷面.....	93
圖 7.11 X 廠商回收錠之 K-Mould 流動長度.....	93
圖 7.12 鹽水靜置圖.....	93
圖 7.13 5A 或 5B 廢棄物回收再利用流程圖	94
圖 7.14 AZ61 之 5A 廢棄物外觀	96
圖 7.15 AZ61 之 5A 廢棄物回收後製成試棒外觀	96
圖 7.16 6B 廢棄物回收流程圖（水泥或是肥料的原料技術仍待開發）	97
圖 7.17 6B 廢棄物外觀.....	98
圖 7.18 6B 廢棄物與其儲渣桶.....	98

表 目 錄

表 2.1 輕金屬的種類及其特性重點	3
表 2.2 歐美汽車使用鎂合金的發展趨勢	5
表 2.3 鎂合金製品在常見的電子資訊產品應用部位	7
表 2.4 歷年全球鎂金屬的消費統計	8
表 2.5 歷年我國鎂合金成型產業用料量的統計	10
表 2.6 我國歷年來鎂合金成型產業的產值	11
表 2.7 我國研發機構進行鎂合金鍛/壓/擠的技術研發狀況	16
表 3.1 MEL 的廢料分類表	18
表 3.2 國內成型用鎂合錠的用料量統計	31
表 4.1 防燃氣體之使用濃度比例	36
表 4.2 國內外各項覆蓋氣體之研究成果總覽	37
表 5.1 廢潤滑油資源化技術評析	53
表 5.2 壓鑄製程中所有回收料細部分類	56
表 5.3 不同型態精煉劑添加方式比較	59
表 5.4 不同檢測鎂錠或鎂湯方式比較表	63
表 5.5 去除 5B 廢棄物的切削油的方法比較	67
表 7.1 廢潤滑油雜質成分組成	82
表 7.2 製程能源耗用及再生成品組成	84
表 7.3 不純介在物判定指標	88
表 7.4 X 廠商之回收錠成份分析	92

第一章 前言

1.1 緣起

輕金屬產業（鋁、鎂、鈦）為挑戰 2008 國家發展重點計畫之產業高質化計畫中推動重點產業之一，其中鎂合金產業更是高潛力成長產業，依據國際鎂協（International Magnesium Association, IMA）之預測，全球至 2010 年於輕合金應用之平均複合年成長率鎂合金為 20%，遠大於鋁合金之 3~6% 及鈦合金之 7~15%。鎂合金優勢為質輕、高剛性、電磁遮蔽性、散熱性佳及可完全回收，符合全球性輕量化、省能源及環保性之趨勢，為未來明星潛力產業。產品應用範圍廣，包括 3C 產業、汽車、自行車、運動器材、醫療及國防等高級產品之主要結構材料。第四屆全國工業發展會議之發展願景，針對鎂合金產業明確定義為「成為全球鎂合金 3C 殼件第一大生產基地」及「成為全球鎂合金運輸工具零組件前三大生產基地」。

鎂合金產業的完整上下游體系為：從上游鎂原料提煉供應；生產設備如壓鑄機之支援產業；壓鑄、沖鍛、射出成型、擠型等成型產業；表面處理之協力產業；到下游產品應用產業，可以看出鎂合金成型產業扮演中間樞紐之角色，亦為我國重點發展所指之產業。國內鎂合金成型產業至 2004 年止，成型廠約有 30 家，成型機台超過 250 台，鎂原料用料量約 14,000 噸。鎂合金壓鑄製程中，會產生相當多的廢料，如料頭、澆道、溢流槽、沉渣與浮渣，及機械加工之屑、塗裝之不良品等，這些廢料並未有效回收及再利用。隨著全球環保意識高漲及資源永續利用之推行，環境保護工作已為產業發展必要趨勢，故該產業之廢棄物減量、製程減廢，以及其廢棄物之資源回收與再生利用，實為該產業發展之重要課題。

經濟部工業局基於維護產業及環境保護之平衡發展，針對鎂合金成型產業進行廢棄物資源化技術手冊編撰工作，希望能提升鎂合金成型產業業者對清潔生產與廢棄物資源化專業技術之認知，並提高再利用業者對鎂合金成型產業廢棄物回收再利用意願，進而增進產業整體之環境績效，達到經濟與環保相輔相成之目的。

1.2 技術手冊內容說明

本手冊將針對國內外鎂合金成型產業製程廢棄物資源化技術及案例進行彙集，並進一步推廣資源化技術，邁向永續發展路程。手冊共分七章，概要說明如下：

第一章：說明本手冊編撰緣由，以及內容中所涉及之鎂合金成型產業範圍及各章節內容。

第二章：介紹鎂合金成型產業範圍及其分類，以及該產業發展現況，並針對其製程說明。

第三章：針對鎂合金成型產業製程之廢棄物來源、特性及產生量，以及主要廢棄物之清理現況進行介紹。

第四章：以廠內管理及環境化設計觀點，敘述該產業於產品設計及生產活動過程之污染預防策略。

第五章：針對適用於該產業之國內外較成熟且較具效益之資源化技術進行探討說明。

第六章：提供資源化技術評估流程、購置資源化設備之選用程序及成本分析之要項，供業者選用資源化技術與設備之參考。

第七章：彙整實際執行之各項廢棄物資源化案例，提供各資源化技術運作情形，以達推廣執行資源化工作之概念。

第二章 產業概況

2.1 產業現況

工業產品的金屬基本材料以鋼鐵、鋁、銅為大宗。就規模而言，全球的粗鋼年消費量於 2004 年已超過 10 億噸，其為最重要的工業產品基本結構材料，殆無疑問；然鋼鐵材料的比重高達 7.7~7.85，不利其在輕量化方面的應用。過去 50 年來，耐久型輕量化的用途一般由鋁合金擔綱，少部分用途則採用各種工程塑膠，而在民生用途及可攜式產品方面，則各種塑膠以其比重較鋼、鋁輕的特性而大行其道。但自 1990 年代以來，輕量化的要求已更上層樓，且其後又加上環保回收的議題，使得包括汽車在內的工業產品及可攜式產品，皆必須尋求較鋼/鋁及工程塑膠更佳的結構材料。由於鎂合金的比重只有 1.8，如表 2.1 所示，為所有常用金屬類結構材最輕者，且其強度/剛性等特性又較工程塑膠優越。因此自 1990 年代以來，鎂合金逐漸嶄露頭角，成為未來世代的明星材料。以下將全球及我國鎂合金產業的現況及最新的發展作一概述。

表 2.1 輕金屬的種類及其特性重點

結構用輕金屬的種類					
鋁Al	鎂Mg	鈦Ti	鐵	鎳	銅
2.7	1.8	4.5	7.9	8.9	8.9
			鋅	鈹	塑膠
			7.1	1.9	1.1~1.7
基本特色 - 質輕/剛性 ➡ 結構用途 (Al、Mg、Ti)					
功能性特色 - 導電性 (Al)					
耐蝕性 (Ti)、防蝕保護 (Mg)					
導熱性 (Al、Ti)					
不利點 - 價格較高 (Ti > Mg > Al)					

資料來源：工研院材料所輕金屬實驗室。

2.1.1 全球鎂金屬產業現況

鎂金屬/合金在結構材料的應用甚早，在二次世界大戰期間，交戰的美、德雙方都已開始應用在各種可能的航空零組件上，其中較為出名的是德國在其主力戰鬥機 Bf-109 的引擎支架上採用鎂合金製品，美國則在多型戰機（包括戰鬥機及轟炸機）的機輪輪圈上採用鎂合金製品。戰後，美國曾一度對於鎂合金在航空業的應用寄予厚望，因此在 1950 年代曾投入大量資源研究鎂合金的各項技術並開發在航空上的各種應用；其後並逐漸擴大至商業方面的用途。但彼時鎂合金的價格較鋁合金高出甚多，且當時的社會上也還沒有出現能源危機及環保的議題，因此鎂合金的發展受到極大的抑制，使得鎂合金僅能應用在一些利基領域，其產業規模相較於鋼鐵、鋁合金等主要金屬實在微不足道；而工程塑膠的發展更讓鎂合金幾乎處於被遺忘的狀態達 30~40 年之久。

1. 鎂合金在汽車方面的應用現況

近廿年來，真正帶動全球鎂合金產業發展的主要為汽車產業及 3C 產業的需求。就汽車產業而言，自 1985 年以來，在歐美汽車輕量化的應用上，由於 VW、FORD 等歐美主要汽車業者，在其新車型上逐漸開始增加鎂合金零組件的應用而展開市場，至今汽車上的應用已成為歐美鎂合金成型業者主要的業務範圍，且幾乎占其市場的全部；又自 1995 年以來，環保及省油/輕量化的趨勢愈趨重要，鎂合金在汽車上的應用日漸擴大，包括日本在內的非歐美系汽車業者也積極籌備在新車型上採用鎂合金成型件，使得汽車業的需求成為全球鎂合金結構件最主要的市場，未來的前景亦十分看好。

經過這幾年的發展，自 2003/2004 年以來，美國的應用市場在北美各主要汽車業者要求成型業者做更高的品質保證下，呈現發展趨緩的現象；但鎂合金在汽車上的應用仍被看好，因此國家級的大型應用開發研究則仍持續在進行中。事實上，美國能源部（Department of Energy, DOE）與美國汽車研究協會（United States Council for Automotive Research, USCAR）自 1999 年起即共同合作進行為期 5 年的汽車輕量化材料開發計劃（United States Automotive Material Partnership, USAMP）中，鎂合金在汽車結構方面的應用為計劃中重要的一環，當 2005 年該計劃結束時，在 USAMP 的宣傳櫥窗（Show Case）中，USAMP 以當年度 GM 的最新型跑車—Corvette Z06 當成輕量化材料計劃的代表作，並特別強調該款車型的引擎支架框（Engine Cradle）以鎂合金製作，比早期車款以鋁合金製作者輕 35%。由於第一階段 USAMP 計劃極為成功，且汽車輕量化

的需求在能源價格日趨高漲的今日益顯重要，因此在第一階段結束後，雙方立即再度合作，簽約進行第二階段的 5 年 USAMP 計劃，總經費並擴大數倍至 7 仟萬美元，鎂合金在汽車方面的應用及新型鎂合金的開發當然仍是其中重要的一個大項。

而歐洲的市場因鎂合金業者已配合汽車業者發展多年，因此整個市況仍能持續高度的發展，包括 VW、Daimler-Benz 等主要大廠都已在新車型中實質的採用鎂合金零組件作為汽車輕量化的主要手段之一；VW/Audi 等較為積極採用鎂合金的廠商並做出大膽的預測，預期約 15~20 年以後，每車的鎂合金使用量將有達到 178 公斤的可能。整體而言，歐美的汽車業者仍對鎂合金寄與厚望，且主要廠商都有大量採用鎂合金零組件的計劃，表 2.2 為歐美汽車業者對於在其汽車上使用鎂合金的發展趨勢展望，由此可以預期鎂合金的市場在未來將有極大的成長幅度。至於日本方面，這幾年來一直是只聞樓梯響，不見人下來，頗令鎂合金業者失望；但自 2004 年下半年起，日產（Nissan）開始在其 2005 年新車型的儀表板（Instrument Panel）開始採用鎂合金製品，預期鎂合金在日本汽車方面的應用將開始會有實質的進展。

表 2.2 歐美汽車使用鎂合金的發展趨勢

年代	1990	2000	2020（預估）
平均每車鎂合金的重量，kg	~1	~3.6	100~120

註：VW/Audi 預期約 15-20 年以後，每車的鎂合金使用量將有達到 178 公斤的可能。

資料來源：台灣鎂合金協會

2. 鎂合金在 3C 產業的應用現況

鎂合金在電子資訊產品上應用的源起也是基於更進一步輕量化的需求。自 1990 年以前，3C 產品對於輕量化材料的需求就已相當迫切，因而使 3C 產品的機殼/構件材料逐漸起了變化。由於可攜式產品日益追求輕薄短小趨勢，各種塑膠材料在結構剛性、散熱性等已開始逐漸不敷需求，而新的產品材料特性要求則不斷出現，如電磁波干擾（Electro-Magnetic Interference, EMI）的屏蔽、可回收性等，皆使塑膠逐漸無法滿足需求。而鎂合金在機械、電磁特性及環保回收

性的總體衡量下，皆較工程塑膠及其他常用的輕量化材料為佳，於是其相關應用逐漸受到重視。

事實上，機殼/機構輕量化除了加強工程塑膠的運用技術之外，使用鎂合金也是另一個選擇，這是在工程上早已知道的事實。因此約在 1992-1995 年間，一波由電子資訊產品廠商所推動的輕量化的攻勢中，已有相當多的廠商推出鎂合金機殼的產品，惟市場的反應並不理想。真正將鎂合金在 3C 產品方面的應用推上新世代材料的舞台的，是 1998~1999 年間日本將其應用於筆記型電腦的機殼，不僅成為產品高級形象的重點，更是產品暢銷的主因之一，因此鎂合金機殼遂一炮而紅，並且在近幾年來使鎂合金在電子資訊產品的機殼/構件的應用成為輕金屬的熱門話題，也造就了日本及我國的鎂合金成型產業。但美國主要的品牌則一直沒有那麼熱衷，一直到 2002 年下半年才轉趨積極，但普及迅速，到 2003 年美國主要的品牌都已大量採用鎂合金機殼/構件。這其中的原因除了廠商所宣稱的「經過數年的觀察，鎂合金的技術已成熟」之外，歐盟及美國相繼立法通過環保法規（例如：歐盟的 WEEE 指令，2005 年 8 月~2006 年 1 月間，歐盟各國都將正式開始實施）的推行恐怕也是一個重要的因素。目前，鎂合金在高科技產品方面的應用，除了筆記型電腦的機殼/構件之外，在無線手機上的應用也已成爲主要的應用產品項目，表 2.3 為鎂合金製品在常見的電子資訊產品中的應用部位。目前，鎂合金應用於電子/3C 產品的範圍仍在持續擴大中，除了筆記型電腦、手機等的鎂合金應用比率仍在持續爬升中，新產品的應用也不短斷的被開發出來，例如：我國已有成型廠商開發氣動/電動工具的鎂合金機殼，除了輕量化以外，並可提升機殼的減振效果，因此甚受市場歡迎；我國廠商並已開發鎂合金自行車上市（每部 8~12 萬元新台幣），對於提升品牌形象頗有幫助。未來在環保法規日趨嚴格的狀況下（對塑膠製品比較不利），對於鎂合金在可攜式電子資訊產品應用進一步擴大將具有極大的推動力，因此，可預期全球鎂合金的市場仍將持續高度的成長。

由於日本為大多數電子及可攜式產品主要的品牌領導者，因此在 3C 產品的製造方面，日本也是主要的生產基地，而我國、南韓及大陸則成為 3C 產品 OEM/ODM 的主要地區。因此之故，鎂合金在 3C 產品的應用方面的擴大及發展，也是以日本、我國為主要的生產製造地區；南韓的起步較晚，在高科技產業「大者恆大」的市場規則之下，南韓的鎂合金成型產業始終無法健全發展，目前已與我國相去甚遠。由於鎂合金在 3C 產品方面應用的持續擴大，預期日

本及我國的鎂合金成型產業仍將持續高度成長，相關業者的獲利也是十分樂觀。

表 2.3 鎂合金製品在常見的電子資訊產品應用部位

應用產品	應用部位
筆記型電腦 Note-Book PC	頂蓋 (LCD 外蓋, A 件)、LCD 邊框 (B 件)、鍵盤框 (C 件)、底盤 (Chassis, D 件件)、內構件 (支架、導片、固定盒)、散熱片、硬碟機機殼
無線手機 Cell Phone/Hand Set	中間框體、鍵盤框、LCD 框、背蓋、摺疊鉸接部、換殼框、LCD 補強框
個人數位助理 Personal Digital Assistant	框體、外殼
攝錄影機 Digital Video Camera	框體
數位相機 Digital Still Camera	框體、外殼
單眼相機/單眼數位相機 Single Lens Reflection Camera/Digital SLR	框體、頂蓋、底蓋、外殼、鏡頭底座、三腳架雲台部
數位投影機 Digital Projector	框體、機殼、支架
可攜式 MD 唱盤 Portable Mini-Disk Player	頂蓋、底盤
電視機 TV	外殼框

資料來源：工研院 IEK ITIS 計畫

3.全球鎂金屬的消費統計

若綜觀鎂金屬（一般稱之為純鎂，是指鎂之純度在 99.8% 以上）的全面性用途，則鎂金屬的主要用途除了上述配成合金以後作為結構材（包含壓鑄用、其他鑄造用及展伸材用等 3 項）的用途之外，尚有鋁合金配料、鋼鐵的精煉脫

硫及防蝕（當犧牲陽極）等項目，如表 2.4 所示；其中鋁合金配料用途一直都是鎂金屬最大的用途，但最近約 10 年來，在輕量化的趨勢下，鎂合金成型材（即結構材，以壓鑄製品為主）的應用迅速擴大，而成為輕金屬產業中最受矚目的焦點，未來 1~2 年內，鎂合金成型材的用料量將超越鋁合金配料用途而成為鎂金屬最大的用料項目。又鎂合金由於其材料的特殊性，不易軋壓成為板片等結構用素材，因此鎂合金結構材到目前為止仍以壓鑄法為主要成型製程，被用來製作各種器物、零組件、機殼等產品；以原料需求量來看，全球的壓鑄法的用料需求量仍占全部結構材用料需求量的九成以上，因此鎂合金壓鑄業的成長狀況乃成為焦點的核心。整體而言，2005 年全球的鎂合金成型產業的成長幅度依用料量來看較 2004 年成長 7.94%，如表 2.4 所示，未來預期仍將呈長期成長的趨勢。製程方面，目前全球都仍以壓鑄法（含半熔融射出法）為主。鍛造/擠型及板片的加工仍處於小量試產的階段，唯未來的發展潛力不可小覷。

表 2.4 歷年全球鎂金屬的消費統計

單位：千噸

年 用 途	2000	2001	2002	2003	2004	2005
鋁合金用	165.1	142.8	145.6	147.0	147.7	148.4
鋼鐵用	60.4	45.9	60.0	64.7	69.9	73.4
化工用	13.5	13.8	10.0	6.0	7.0	8.0
結構材	116.3	111.7	138.7	153.8	168.9	190.2
壓鑄	110.7	108.6	127.8	142.5	158.9	177.2
其他鑄造	2.2	1.7	1.9	3.5	2.0	3.0
展伸材	3.4	1.4	9.0	7.8	8.0	10.0
其他	11.6	15.3	10.3	20.0	7.1	12.0
合 計	366.9	329.5	365.0	387.0	400.6	432.4

資料來源：國際鎂協會（IMA）

2.1.2 我國鎂合金成型產業現況

依據上述，全球可攜式產品及 3C 產品的主要生產基地在亞洲地區的日本及我國。由於鎂合金在可攜式產品及 3C 產品的應用持續高度發展，因此日本及我國的鎂合金產業的發展幅度都遠高於歐美地區。我國的鎂合金成型產業在筆記型電腦機殼及內構件市場的帶動下，引發業界大力的投入，總計至 2004 年年底為止，成型廠商約有 30 家，成型機（包括熱/冷室壓鑄機及半熔融射出機台）總機台數含大陸廠的部份已超過 250 台。若含廠商在大陸的部分，事實上台商的鎂合金成型產業的規模已超越日本的規模，成為全球最大的 3C 鎂合金件的生產基地。歷經數年的發展，部份業者的發展十分成功，不僅已成為全球 3C 鎂合金件的重量及廠商，其獲利也相當可觀，使其成為投資/股票市場的熱門標的。最近兩年來，除了成型廠之外，在回收的部分也有令人可喜的發展，使我國的鎂合金成型產業日趨完整，如圖 2.1 所示。

表 2.5 為歷年我國鎂合金成型產業用料量統計，其中包含進口壓鑄用鎂合金錠、進口壓鑄用鎂合金錠及回收料的用量，此 3 者的總和即為成型用原料的表面消費量。我國的鎂合金成型產業雖然在前數年有甚多廠商前往大陸投資，但鎂合金成型產業仍持續大幅成長，由表 2.5 的資料顯示，即可知我國的鎂合金成型產業仍在大幅成長中。2004 年我國的鎂合金成型產業的鎂合金錠用料進口量較前一年大幅成長 18.2%，達 9,160.7 公噸，若含向回收廠採購的回收重熔鎂合金錠的量，則整個成型產業在 2004 年的鎂合金錠表面消費量已達 13,635 公噸，較 2003 年大幅成長 36.6%；若以表面消費量而言，2004 年我國鎂合金成型產業就已經超越日本國內的鎂合金成型產業的表面消費量（2004 年約 12,800 公噸），因此可以說我國的鎂合金成型產業已成為全球最大的 3C 及小物件的生產基地。2005 年整體產業的產值約在新台幣 100 億元左右，如表 2.6 所示，展望 2006 年，預期我國鎂合金成型產業仍將有大幅成長。到目前為止，我國鎂合金成型產業主要已生產電子資訊產品的機殼構件及電動/氣動的機殼構件等小物件及薄件為主，但有業者已積極在開發汽車零組件市場。我國的業者在製程上仍以壓鑄法及半熔融射出製程（鎂合金半熔融射出法）為主，板料的製造與加工則有工研院等研發機構及業者在積極開發中。

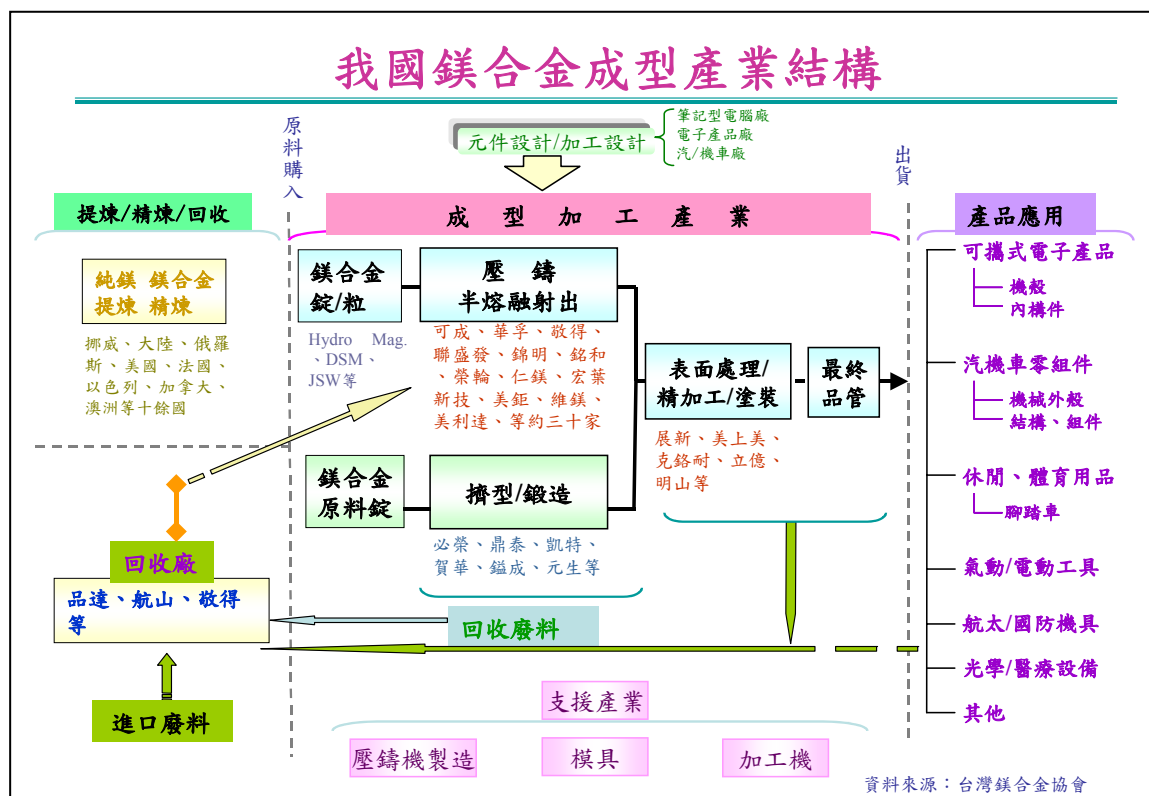


圖 2.1 我國鎂合金成型產業的產業結構

表 2.5 歷年我國鎂合金成型產業用料量的統計

單位：公噸

	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年
進口壓鑄用鎂合金錠 (1)	4,442.0	6,483.4	7,740.0	9,160.7	7,113.3
進口鍛造用鎂合金錠 (2)	17.9	34.3	43.5	39.2	22.0
回收料用量(3)	—	—	~2,200	~4,435	3,200.4
我國成型用原料之表面消費量，1)+(2)+(3)	4,459.9	6,517.7	9,983.5	13,634.9	10,335.7

註：1. 壓鑄用鎂合金錠包括壓鑄用料量及半熔融射出法(Thixomolding®)用料量

2. 鍛造用鎂合金錠包括擠型、鍛造用料及壓延料

3. 壓鑄用鎂合金錠量加上回收料用量即為熔解量

4. 表面消費量為熔解量加上擠/鍛用料量

資料來源：台灣鎂合金協會

表 2.6 我國歷年來鎂合金成型產業的產值

單位：新台幣億元

年	2000	2001	2002	2003	2004	2005
產值	35	38	44~48	65~80	> 100	~100

資料來源：台灣鎂合金協會

2.2 製程概述

在常用金屬（鋼、鋁等）的成型法之中，一般都以板片的成型加工（Press Forming）及鍛造（Forging）為主，唯有鎂合金的成型法不以成型加工及鍛造為主，而係以壓鑄法為主要的加工法；其主要的原因，學理上的觀點為：鎂金屬的結晶結構為六方最密堆積（Hexagonal Close-Packed），缺乏塑性變形所需的 Slip Band，因此材質本身的延展性不佳，意即塑性加工性不良，因此鎂合金僅能以熔解-鑄造的方式直接鑄成物品形狀。所幸鎂金屬的熔點僅約 650℃，相當適合以壓鑄製程製造工件，因而鎂合金到目前為止，其成型法以壓鑄製程為主。由表 2.4 全球鎂市場的統計中可知，結構材項目的鎂金屬需求中，超過 95% 為壓鑄製程的需求，展伸材（Wrought Materials，包括板片製造/壓造及鍛造/擠型）的鎂金屬需求僅占不到 3%，另約 2% 為其他鑄造法。

2.2.1 壓鑄法及半熔融射出法

至目前為止，全世界鎂合金的成型法以壓鑄法為主，其他的製造法皆無足夠的份量，因此談鎂合金的成型技術，一般皆以壓鑄法為重點，且前述 3C 產品採用鎂合金製品所用的製程，亦皆屬鎂合金壓鑄法（為簡化說明故，此處將鎂合金的半熔融射出成型法(Thixomolding®)列入壓鑄技術的一種），故此處僅就鎂合金壓鑄製程的三種方法（熱室壓鑄法、冷室壓鑄法及半熔融射出法）加以說明。

圖 2.2 顯示冷室及熱室壓鑄法的原理，鎂合金的壓鑄在原理與一般的壓鑄法（指鋁、鋅等的壓鑄法）並無不同，所謂壓鑄法是指將融熔金屬以一活塞將之壓入模穴中，待金屬凝固以後，打開模子取出已成型的鑄胚，並切除流道等不必要的部份，此毛胚尚須經整緣、修補、表面處理、上漆等一連串的程序，才成為成品可以交貨；至於在整個製造流程中，於各個階段設定品管做生產管制乃為一般工程常識，不必多言。

與一般的壓鑄法相同，鎂合金的壓鑄法亦有熱室及冷室壓鑄法之分，其間的區別為，在熱室法中整個活塞裝置係浸泡在融熔金屬的盛桶中，而冷室法的活塞則獨立裝設，每次射出（Shot）所需的融熔金屬另以其他方式注入活塞筒中，再進行射出的動作。一般而言，冷室法機器的結構較簡單，故較適合大型機台，但冷室法的 Cycle Time（每一次射出所需的時間）較長（約為 30 秒），其產出率（工件重量/每次射出所需的金屬量）亦較熱室法為低；熱室法的 Cycle Time 較短（約為 20 秒），其產出率亦較高，但機器結構較複雜，所需的維修保養亦較多。圖 2.3 顯示在生產線上，整個壓鑄的製造流程。

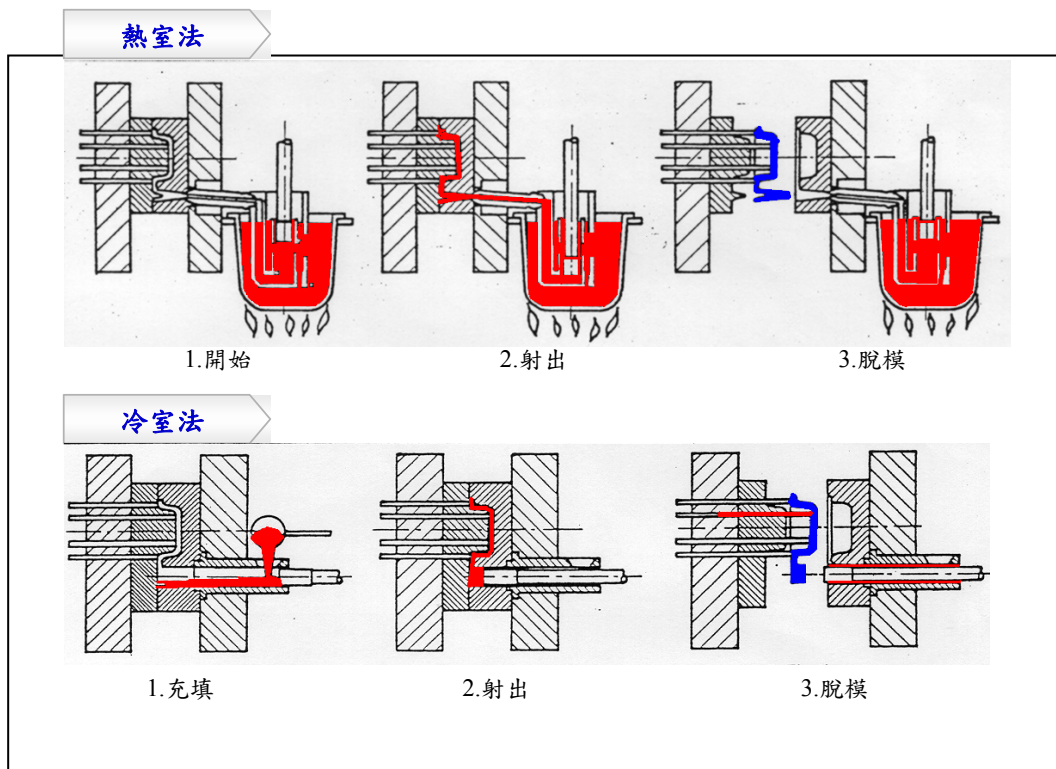


圖 2.2 鎂合金壓鑄法原理示意圖

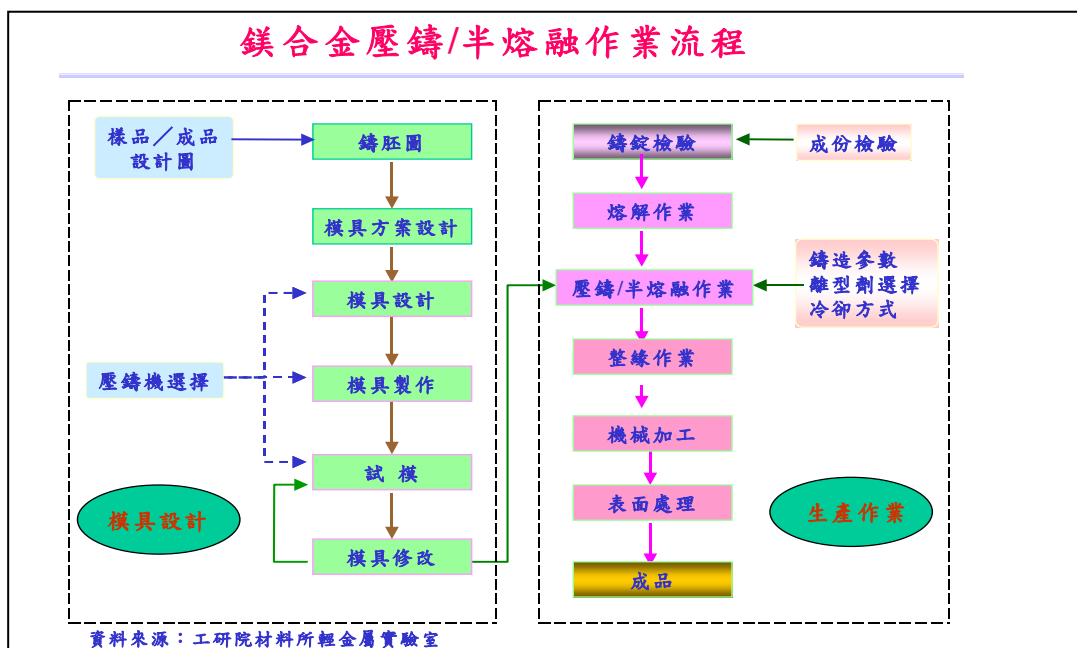
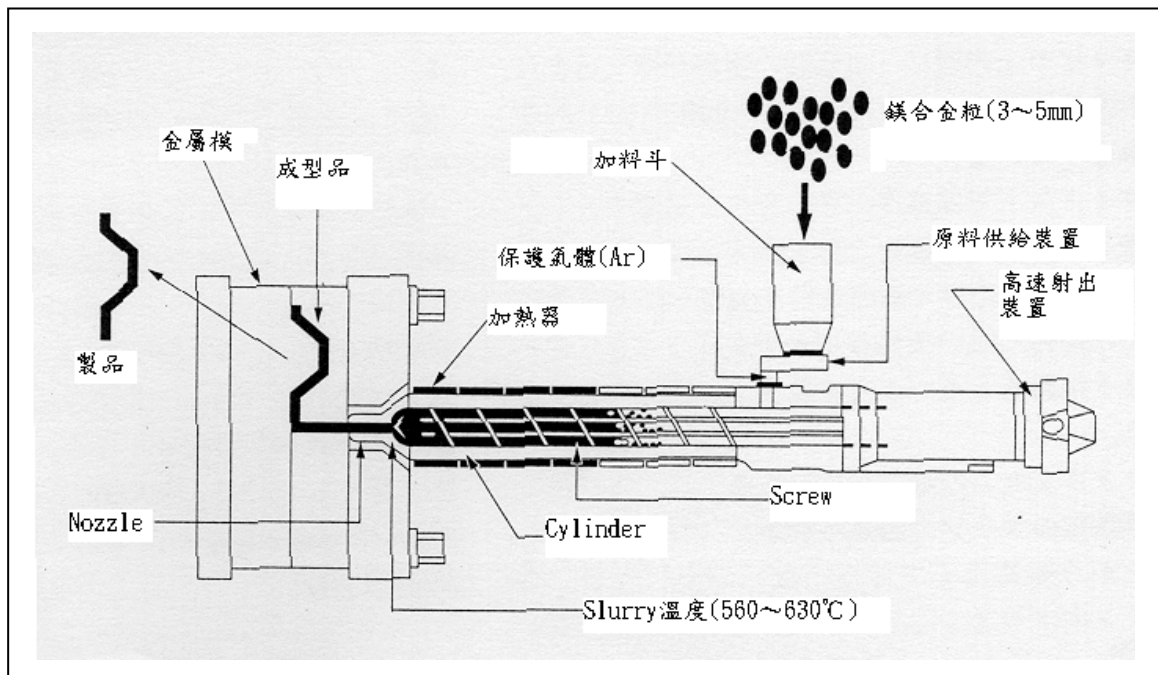


圖 2.3 鎂合金壓鑄及半熔融的製造流程示意圖

鎂合金壓鑄機在全球有多數廠商在生產，主要的壓鑄機廠商都同時有鋁、鎂、鋅的壓鑄機供應壓鑄業的需求，目前我國鎂合金壓鑄業所使用的壓鑄機幾乎全部進口，主要的來源為德國、義大利及日本，而以德國 Frech®廠牌的熱室機台的比率最高，其次為義大利的 Idra®及日本的壓鑄機，美國製的機台，國內亦有廠商引進。至於冷室機，則以瑞士的 Bülher®為主；我國的自製鎂合金壓鑄機，目前已有興行實業及正峰機械開發成功，可供壓鑄業者選購。我國壓鑄廠商的主要產品為 3C/可攜式產品，其重量及尺寸都不大，因此引進的機型（不論冷室機或熱室機）都在 1,000 噸以下（壓鑄機的噸數指其機台的模具夾持力），以目前的產品範圍都已足夠。若以無線手機機殼大小的工件而言，則 150 噸的熱室機 1 模可以射出 2 件；但未來若是要承接汽車零組件等較大的產品，則必須有 1,000 噸以上的機台才足以勝任。

以上為較傳統的壓鑄法，此外鎂合金的成型法另有一種較新的技術，為半熔融射出成型法（Thixomolding®），本法為美國道化學公司（Dow Chemical Co.）與 Batelle 研究所所發明，並擁有原始專利，其亞洲區的授權由日本製鋼所（JSW）取得，惟至目前為止，Thixomolding®射出機仍只有日本製鋼所開發成功，因此日本製鋼所仍為全球唯一的 Thixomolding®射出機的供應廠商。本法的原理如圖 2.4 所示，其機器結構及射出原理均與塑膠射出成型類似，先將顆粒狀的鎂合金以螺旋輸送至射出筒，於其輸送過程並加熱、加壓使鎂合金成為半熔融狀態，再將此半熔融態鎂合金射入模穴成型，其熔融金屬的射出速度約為塑膠射出的數倍至十數倍；此法的原理與塑膠射出成型極為類似，因此推出以來，甚受日本國內想要轉型的塑膠業者歡迎，目前在日本已有 100 台以上的銷售實績（目前採用此法的廠商以日本及我國為主），儼然成為傳統壓鑄法以外的另一主流的鎂合金製造法；由附錄二及附錄三之中也可看到有甚多的日本可攜式產品的鎂合金構件使用 Thixomolding®法製造。但 JSW 的射出機產品線，到目前為止並無 1,000 噸的機台，因此也只能適用於 3C/可攜式產品等這類尺寸較小的產品的工件。

我國的鎂合金壓鑄廠大部份皆屬新設廠，都曾面臨製程選擇的重大難題。但以上三種製程，在製造 3C 產品的薄件框體時，究竟何者較為適當，依國外的經驗顯示，並無明顯的證據顯示那一種製程就一定最好；以 Thixomolding®機台最多的日本來說，雖然已有甚多 3C 產品使用 Thixomolding®法製造，因此在現階段就遽以認定那一種製程是較佳的製程，從而引申認為它種製程將被淘汰都是太過輕率的講法。最重要的恐怕還是各公司如何建立本身堅強的技術及研發水準，才是公司成敗的關鍵。



資料來源：工研院材料所輕金屬實驗室

圖 2.4 鎂合金半熔融射出成型法原理

此外鎂合金為較活潑的合金，於熔融狀態/半熔融狀態及成為毛胚後的各項機械加工，均有較其他的合金（如鋁合金壓鑄）為多的安全措施，此亦為鎂合金業界久已知之的特色，其各種安全措施歷經多年的演化，目前均已標準化，有完善的標準程序可依循。

2.2.2 擠/鍛/板片成型法

由前述可知，鎂合金由於材質的特性，使其不易於製成板片，即使花大功夫製成板片（一般而言，指厚度小於 2 mm 以下的板片），其成本也極高昂；而以板片加工成型製成各種零組件（如：MD 蓋）的加工技術亦復不易，因此由表 2.4 及表 2.5 可知，不論是全球或是我國，板片加工法及鍛造法目前都仍只占鎂合金成型製程的極小部份，事實上還談不上是主流製程之一。

但衡量各種結構材零組件加工法（如；壓鑄、鍛造、壓製、車削等）的成本，以一般的工程常識的觀點，極大量（10 萬/100 萬件以上）的生產則仍以鍛造（Forging）及壓製（Press）的製造成本較低，若鎂合金的素材（板/片、棒、線、

型、管稱為素材，鑄造及型鍛而成的毛胚謂之素形/型材）相關技術能發展至一定的程度與規模，讓主要的用料產業（如汽車/機械、民生/休閒）可據以進行二、三次加工的大量生產時（絕大多數的金屬零組件都用素材經二、三次加工製成），其間的商機自然不言可喻，亦即若鍛造及壓製技術成熟到成本足以與鋼、鋁製品一拼時，鎂合金未來的市場及產業規模，可預見至少將是較目前大數十倍以上的規模。且依材料的觀點，鍛壓材的材質健全度（Soundness）比鑄造材（包括壓鑄製品）要好很多，當工件需要有耐疲勞強度時，鍛壓材的適用性明顯優於鑄造材，因此以技術觀點而言，鍛壓材的開發及其加工技術仍有其必要性。

鑑於以上的未來遠景，鎂合金軋鍛材的商機實在誘人，因此當鎂合金的零組件市場自 1995 年以後，明顯地大幅增加時（在歐美為汽車業，在日本為可攜式產品），就已經有許多的國內外廠商（以歐、美、日各主要工業國的廠商為主）在評估鎂合金軋鍛材的鍛造、壓製技術的可行性及其適用的產品型態，並常見鎂合金軋鍛材相關技術的研究報導，但直到 1999 年年中以後，才有廠商就鎂合金的鍛壓技術、適用產品及新合金開發陸續發表應用案例及試製產品。至 2003~2004 年，日本已有系統廠商以板片壓製成型法製造筆記型電腦的機殼，未來 1~2 年內，將可看到有更多的 3C 產品的機殼以鍛造料製作。

目前我國鎂合金成型業者的製造技術，係以自行車用零組件的開發為重點產品項目，並已有整車廠整合相關的零組件廠開發出鎂合金製自行車，已於 2001 年第一季上市，此外國內也有廠商積極開發板料的各項技術。有鑑於鎂合金產業的將來性，我國政府亦投入資源/經費，由國內幾家主要的研發機構進行鎂合金鍛/壓/擠的技術，以提升我國的鎂合金加工技術，如表 2.7 所示。

表 2.7 我國研發機構進行鎂合金鍛/壓/擠的技術研發狀況

單 位	研 究 領 域
工研院工業材料研究所	鎂合金板/片材之製造技術
中科院材發中心	鎂合金擠型技術之開發
金屬工業研發中心	鎂合金鍛造技術之開發

資料來源：工研院工業材料研究所

第三章 廢棄物特性與清理現況

3.1 廢棄物來源及特性

鎂合金因比强度高、比重低、制震能佳及可回收利用等材料特性，在最近幾年內獲得極高的重視與廣泛的運用。這幾年，國內的鎂合金壓鑄業更如雨後春筍般，在可預見的未來，國內鎂合金的用量將呈現大幅成長，而鎂合金在汽車元件的運用將更為廣泛。

既有生產則有廢棄物。綜觀時下鎂合金製造廠的廢棄物處理方式並沒有一定的標準可循。當然，目前國際上對鎂合金的分類與廢棄處理的方法並未達成共識，可能是造成這種現象的原因之一，但在處理技術上並沒有問題，主要還是成本考量。在目前國內生產量少的今日，廠商尚可勉強應付，一旦大量生產時，鎂合金的廢棄物處理勢將成為廠商心中的痛。

不論如何，在地球村的理念下，資源的再生利用與環境的保護已經不再只是經濟的問題而是永續生存的基本條件。因此，本章節將就鎂合金生產製造過程中所產生的廢棄物作一個系統化的說明。

依目前的廢料，有各種不同的分類方法，本手冊中介紹的是英國 MEL (Magnesium Elektron) 公司的分類方式。其中，前三級為有回收價值的廢料，因為還有相當的經濟價值，所以一般的母廠或回收廠，都願意回收。而第四級到第六級廢料，則為較不具經濟價值的廢料，除了第六級真的不能再回收外，第四級跟第五級還是有回收的方法，但因成本太高，所以在目前階段還是停留在不能回收（無經濟效益），或是回收價格非常低的情況。表 3.1 為 MEL 的廢料分類表。此係一般業界最常用之分類方式，計分為 1 至 6 級，其中之 1、5、6 級廢料又再細分為 A 與 B 兩類。

另鎂合金成型機採用許多潤滑油類，其中之液壓油用於液壓控制及動力傳動系統，亦用於機械之循環與油浴系統。滑道油則用於成型機機床之導軌及滑動面之潤滑。以上潤滑油類會有老化之情形，所以必須定期更換，故產生許多之廢棄潤滑油，此類廢棄物主要從壓鑄機台設備而來。

表 3.1 MEL 的廢料分類表

級別	廢料形態	級別	廢料形態
1A	清淨厚肉、高品質的廢料，如不良品或澆流道等	4	含有油或水的廢料，包含含矽的嵌入物，含鋁或銅的嵌入物，或其他非鎂的雜質
1B	清淨薄肉、表面積較大的廢料，如毛邊或小鑄件等	5A	乾淨的機械加工屑
2	鑄件包含了鋁或鐵的嵌入物。不含銅或黃銅，若含有銅或黃銅，則需要特別處理。	5B	受到潤滑劑污染的機械加工屑
3	表面有噴漆或塗裝的廢料。不含銅或黃銅，則需要特別處理。	6A	沒有受到熔鹽污染的熔渣且不含矽的嵌入物
		6B	有受到熔鹽污染的熔渣但不含矽的嵌入物

3.1.1 鎂合金回收料的貯存

為了鎂合金回收能夠有效的執行，業者在貯存回收料時最好能依照上述分類一一分開貯存，也就是說 1A、1B、2、3 級等各類回收料都應該有它專用的回收桶。回收桶一律使用乾淨的鐵製加蓋的圓桶，並且於桶外應標示回收分類及典型的物料。使用鐵桶的用意主要是在於防止延燒。國內有些廠商僅用太空包或甚至散置在貯存區內都不是良好的處置方式。加蓋的目的在於防止人為疏忽，任意丟棄煙火造成起火燃燒，貯存桶如圖 3.1 所示。



圖 3.1 鎂合金廢棄物(1，2，3 級)貯存桶

用來放置貯存桶的空間應注意以下事項：

- * 保管地點最好是通風良好的建築物內；
- * 建築物要不可燃構造，其他的可燃物不可與鎂合金切屑放置同一場所；
- * 保管地點不可漏雨。

各分類項目於貯存時應注意的細項如下：

1. 1A、1B、2 級回收料

如圖 3.2 所示，1A 及 1B 的回收料基本上都是乾淨而可以直接再生的。部分規模較大的廠商已經可以在廠內自行再生。至於規模較小的廠商則先行收集，等到收集量夠大時再裝櫃回售給原料製造商或者再生業者。但不論何者，都應該以加蓋鐵桶貯存。

可自行再生者，貯存的時間較短，只要占地不大的暫存區即可儲置，並且回收料受潮的機會也較小。無法自行再生者則在儲置區及防潮問題上必須更加費心。



圖 3.2 鎂合金廢棄物 1A(左圖)及 1B 級

2. 3、4 級回收料

這兩類回收料無法直接回收。第 3 級廢棄物（如圖 3.3）表面塗層若由室溫緩慢昇溫將會產生大量的有害氣體，會造成環保與工安衛生的問題。第四級表面有油污等雜質若在室溫下燃燒也同樣會造成環保與工安衛生的問題。因此必須由合格的環保回收廠商專業處理表面塗層後方可再生。正因如此，所以原料廠也不願意回收此類回收料，而目前國內業者對於究竟如何處理此類廢料也是相當頭疼。如果將此類回收料視為廢棄物處理可能問題會簡化許多。參考各類廢棄物處理方法之後，除了重熔回收法以外，高溫焚化（超過 1000℃）可能是

最佳的方法。

當然，這些類回收料在貯存時仍應以加蓋鐵桶貯存。而第 4 級回收料的貯存桶底部應該放置瀝油網並開一個洞口使廢油流出，或者將貯存桶斜放使廢油容易流出後再處理。



圖 3.3 各種不同類型的噴漆及塗裝廢料(第三級)

3. 5A、5B 級回收料

5A 級回收料其實是乾淨的鎂料，同時也已被證實可以經過壓實後再生重熔。惟就成本考量而言是不合經濟效益的。因此，一般廠商並不願意做此項投資。而且只有肉厚清潔度高的乾式切削的切屑可回收再熔解，但其他的切屑，則必須廢棄處理。至於 5B 級回收料更不用說，其再生成本遠高於 5A，一般都以廢棄物處理之，圖 3.4 為含有切削油的加工屑。應廢棄的切屑如下：

- (1)無法再熔解的薄肉切屑。
- (2)經研削產生的粉屑切屑濕式加工（水溶性油）切削的切屑。
- (3)表面受到污染混入其他金屬的切屑。
- (4)可回收的肉厚清潔度高的乾式切削切屑，即使再生，亦無法完全收集時，只好廢棄。

5A 及 5B 級回收料的危險性較高，很容易著火。因此在貯存、運送過程中有幾項要特別注意的：

- (1)切屑要存放在乾淨加蓋的鐵製或不可燃性的容器內，為了避免萬一在廢棄處理之前，自然起火引燃物及其他可燃物，所以要保存在安全場所。
- (2)濕式加工的切屑含有非水溶性油（礦物油）或水溶性油（乳化油），切勿與乾式加工的切屑混合。

- (3)不僅要避免非水溶性切屑與水溶性切屑的混合，亦要在個別容器上清楚標示種類。
- (4)切屑沾到含水溶性及 0.2%以上脂肪酸的水或油會產生氫氣，此時，必須馬上進行切屑的廢棄處理，不得已在保管時，在容器的蓋子上開口個孔，釋放氫氣，並放在通風良好的場所，特別是類似此種切屑要注意“裸火”。
- (5)沾到動植物油的鎂合金可能會自然起火，此亦必須馬上進行廢棄處理。



圖 3.4 含有切削油之加工屑廢料(第五級，5B)

4. 6A、6B 級回收料

這類回收料是不折不扣的廢料。6A 級不含 Flux 化合物為一般廢料，可以一般事業廢棄物處理之，而 6B 級含有 Flux 化合物為有害廢棄物必須委託專業廢棄物處理公司來處理。顯然後者的處理成本會高出許多。因此，在壓鑄製程中儘可能不要用 Flux 為上策。

6A 級中，研磨粉屑（本技術手冊依據 MEL 分類方式，粉屑屬 6 級廢料，不屬於 5 級切屑類）若是在開放空間中收集（手工具修毛邊所產生）則貯存方式與乾切屑相同。若是以濕式集塵機收集者即形成濕粉屑，泥狀粉屑的回收物中含少量的研磨材。粉屑的危險性高，要注意下列事項：

- (1)濕式集塵機所回收的粉屑，因含有水份，會產生氫氣，另裸露會有反應熱，自然起火危險性高，若非要馬上作廢棄處理，則需補充充足的水份使粉屑沉

澱在水中。

- (2)屬於乾燥狀態或稍含水份的粉屑，容易因“裸火”而起火引發爆炸燃燒，不論保管或廢棄處理，要特別小心謹慎，特別防止抽煙、焊接火花。
- (3)研磨機必須使用鎂合金專用機，不可兼用於鋁或其他合金研磨。產生的粉屑、工作完就要馬上清潔取出，不可滯留。
- (4)粉屑比切屑活性高、危險性高，盡量不要貯存，最好馬上進行廢棄處理。粉屑的廢棄處理以化學處理（詳後）較為安全，處理時要小心注意，粉屑比切屑更具燃燒性、引火性、自然起火性，特別是濕式粉屑危險性最高。乾燥狀態的粉屑，最好放在有蓋的鋼製容器內較為安全，含水份的粉屑原則上不貯存，若非要貯存時，請務必做到下列事項：
 - A.粉屑的表面積比切屑大，與水份產生的反應亦大，因此氫氣反應熱的發生量遠比切屑高，帶有危險性。
 - B.濕式集塵機所產生的粉屑，要每天或工作許可下撥空取出作廢棄處理。
 - C.不得已必須貯存時，保管時間儘量縮短，一定要監視。
 - D.不可使用完全密封的容器。蓋子上面要打一些小孔，可排放氫氣；
 - E.保管時要特別注意“裸火”。
 - F.粉屑狀的鎂合金自然起火的危險性高，要確實做到與切屑、其他可燃物分開保管。

熔渣是鎂合金熔煉後的產物，可區分為浮渣與沉渣。熔渣含有大量的氯化鎂，微粒子狀的鎂及 Flux 成分的氯化鎂等，氯化物很容易潮解，如果就這樣廢棄，會吸收水份而發熱，產生氫氣、阿摩尼亞等，依條件不同，甚至會自然起火，要視為事業廢棄物作安全處理。

為此，產生的渣以每日處理為原則，不可儲置。萬一必須貯存時，保管時間要短，且保持乾燥，切斷與濕氣的接觸，使用加蓋的鋼製容器裝填。

此外，熔渣取出後若任其冷卻凝固，熔渣會變得像塊狀岩石一樣非常硬，如圖 3.5 所示，若要加以粉碎很困難，而塊狀的熔渣很不容易清理。因此，在取出熔渣的同時，將半熔融狀態的鎂渣與砂混合攪拌，如此可得到細化的熔渣，在處理上比較方便。



圖 3.5 第六級廢棄物（沉渣或浮渣）在儲渣桶製成塊狀後外觀

3.2 廢棄物產生量及清理現況

鎂合金的廢棄物除了在壓鑄過程中產生以外，在回收的過程中也會產生，表 3.1 所列的主要是壓鑄過程中所產生的廢棄物，然而，只要有熔解，或是加工的過程就會有廢棄物的產生。

3.2.1 壓鑄過程中廢棄物產生量

在壓鑄的生產過程中，因為要將鎂錠熔解，然後壓鑄成成品，在此過程中，鎂湯會因為表面保護膜或液面變動而產生表面渣或爐壁的渣，也會因為溫度變化而產生富含金屬間化合物的底渣；而成品中的澆道及流道，以及不良品等，都會成為壓鑄過程中的廢棄物。這幾類廢棄物產生量及可能的處理方法簡介如下：

1. 澆流道及不良品

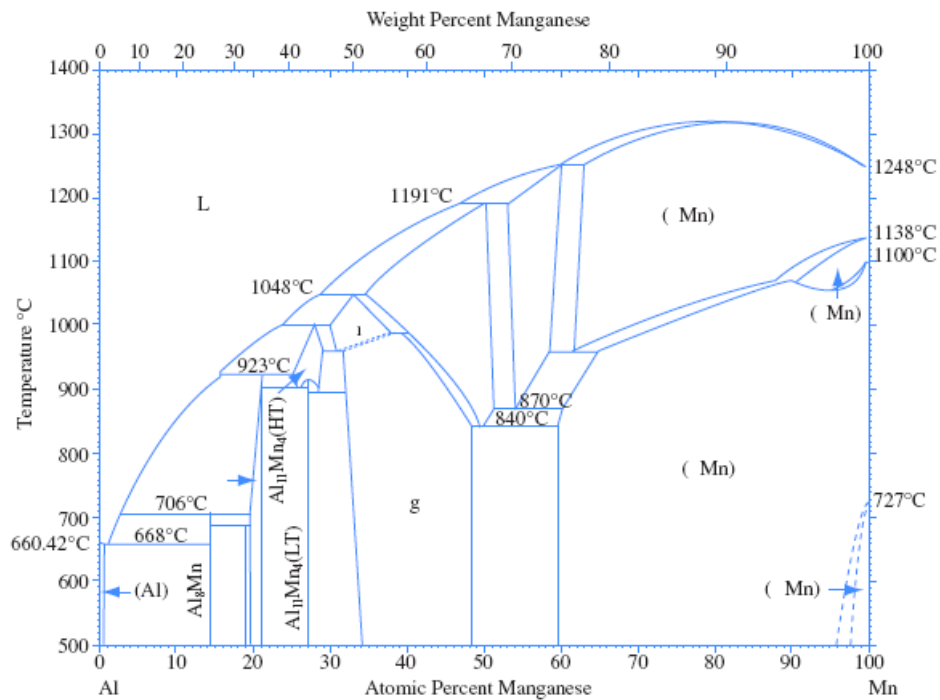
這一類的廢棄物產生量與各個壓鑄廠的良品率、步留率（Yield）有很密切的關係，若以一般壓鑄廠的經驗，則約有 50% 以上的鎂料都會成為這一部份的廢棄物，這些廢棄物，因為表面多多少少都有一定量的氧化膜，所以不能直接重熔使用，所幸的是，這一部份的廢棄物，可以交由母廠或是回收廠直接重新煉製成回收錠來使用，其等級與原生錠相當。

2. 浮渣

這一類的廢棄物通常出現在鎂湯的表面，因為壓鑄機的熔解爐必需要定時添加鎂錠，在添加的時候會破壞掉原本的保護膜，而產生氧化，雖然新的保護膜會很快產生，但因為不斷破壞的結果，會使得表面浮渣越來越多，若是保護氣體保護效果不佳時，這種情況更為明顯。這一部份的廢棄物產生量通常都很少，即使在保護不佳的情況下，都不會超過 0.5%。

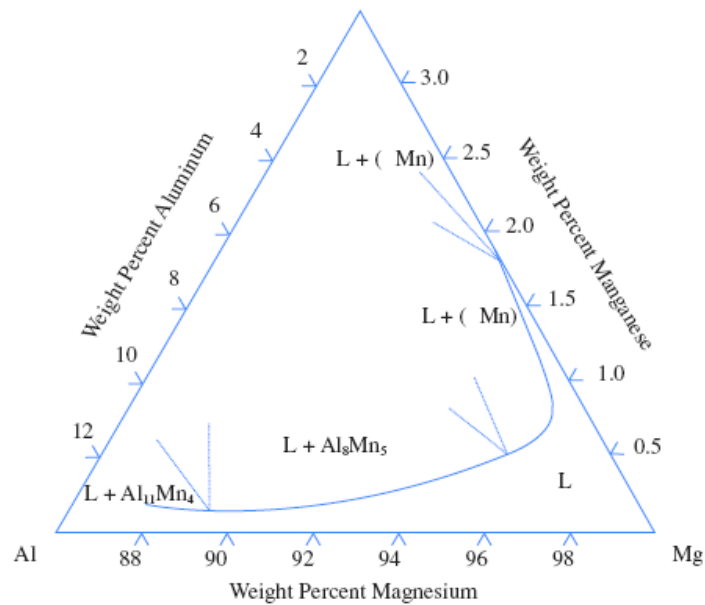
3. 沉渣(金屬間化合物)

一般鎂合金錠的製作溫度約在 670°C ~ 710°C ，而壓鑄機裡面的鎂湯溫度常常會低於 670°C ，尤其當鎂錠添加進去時，造成的局部低溫。因此，由於溫度低於鋁鎂相金屬間化合物的析出溫度（ 660°C ），如圖 3.6 及圖 3.7 所示，這會造成以鋁鎂相為主的金屬間化合物沉澱，壓鑄業者必需定期清理這些沉渣，以免這些沉渣跑入壓鑄機的鵝頸管造成鵝頸管的磨損。這一部份的廢棄物產生量與鎂錠的來源與壓鑄機使用者的習慣有很大的關係，因此沉渣產生量變化的範圍在 2~8% 之間不等。



資料來源：ASM Handbook

圖 3.6 Al-Mn 二元相圖



資料來源：ASM Handbook

圖 3.7 鋁鎂錳之三元相圖(670°C)

3.2.2 回收過程中廢棄物產生量

回收過程中，因為這些料在壓鑄機的熔爐內已經經過一次沉澱，所以不會有金屬間化合物的沉渣出現，但是因為這些廢棄物內部含有大量的氧化物，在除渣過程中，會加入相當量的氯化物，形成氯氧化物的結合物以便除渣並與鎂湯分離，這些氯氧化物的密度遠大於鎂湯，而形成另一種類型的沉渣。

1. 浮渣

回收階段產生的浮渣與壓鑄過程中相近，都是因為保護不佳造成的氧化所引起的。但由於在精煉過程中，往往會造成保護不佳的狀況，所以回收過程產生的浮渣量會遠較壓鑄過程。在正常情況下，若是保護的不錯，此一部份的量約在 1~2% 之間。

2. 沉渣（氯氧化物）

回收過程中產生的沉渣大部份是加進去的氯化物（有鹽法），以一級料來說，一噸的一級廢料約使用 20 公斤的精煉劑，產生的廢棄物料約在 25~30 公斤之間。故可以發現鎂湯中其實溶進去的氧化物很少，約在 0.5% 以下，這些廢棄物外觀如圖 3.8 所示。



圖 3.8 鎂回收產生的廢渣外觀

3.2.3 現行廢棄物處理方法

本章節針對無法回收再精煉成鎂再生錠的廢棄物處理方法為主。鎂合金的廢棄物處理，根據環保法規之定義有中間處理、最終處置與再利用三個階段。中間處理係利用物理、化學、生物、焚化或其他方法將有害成分分離、減積、去毒、固化或安定化。最終處置係指衛生掩埋、封閉掩埋、安定掩埋或海洋拋棄。再利用則是指販售、轉讓廢棄物或廢棄物經由水解處理後經溶出試驗合乎標準而加以利用。再利用並非法定必須完成的階段處理，是否執行得由廠商自行考量。

對於鎂合金廢棄物而言，目前已知的中間處理有直接掩埋、焚化、化學處理及固化處理等。最終處置的方法一般有衛生掩埋與海洋拋棄。再利用處理則有鋪路、填海等。目前業界在處理的流程上並無定見，較常見的處理流程有，直接掩埋、焚化後掩埋、化學處理後掩埋、焚化或化學處理後固化再掩埋或海拋或再利用。

在環保法規中對於事業廢棄物處理的要求，主要見於「廢棄物清理法」以及「事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準」中。

1. 直接掩埋

只有 5A 級回收料適合做直接掩埋。乾淨的切屑或粉屑可不透過焚化、化學處理，經由埋設方式進行廢棄處理。此法是利用大量的砂與廢棄物混合後，埋於地中，依國際勞工總署（International Labor Office, ILO）所推薦砂與廢棄物的比例：

切屑：砂＝1：5

依此比例混合的話，即使用普通方式堆積，亦是安全的。掩埋的地點及處理程序一定要符合環保規章的要求。

2. 焚化

所有的回收料都可以焚化作廢棄處理。尤其是量多時，焚毀處理是最簡單的方法。

乾淨、乾燥的切屑比較可以安全地焚毀。被水或其他無機物、有機物污染的切屑，其燃燒較為複雜，容易引起爆炸性燃燒，危險性高，焚燬時，要小心注意。特別是，回收管理不好的話，乾燥的切屑中有時會混入含水份的切屑，焚毀前要再確認一次。

(1)簡單的將乾燥的鎂合金切屑鋪滿某一厚度就點火燃燒，常人往往會誤以為鎂屑已經被焚燬。但實際上，這樣做，鎂合金燃燒時，無法供給內部足夠的空氣，空氣只達表面燃燒的附近。內部在不完全燃燒的鎂合金與燃燒後的氧化鎂邊緣附近，形成茶褐色的氮化鎂。而且鎂合金燃燒時，會大量產生氧化鎂白煙，造成惡劣的作業環境。這樣的焚燬無法保證完全燃燒，環境保全及安全性也會有問題。另外若使用簡易焚燒爐同樣亦無法判定其燃燒程度，亦會引起相同現象，此法算不上是一個好的焚化方式。

- (2)根據日本鎂合金協會所建議的一種比較安全的焚化方式如下：不論切屑或粉屑，與含適當水份的砂依一定比例混合，使其燃燒的話，不但不會產生氧化鎂白煙，且可抑制氮化鎂的形成。即使是鋪上厚厚的一層，仍然可以安全且完全地使內部鎂合金完全燃燒。焚化時間可以砂中的水量與砂的混合比例作調節。基本上要使用河砂或相當於此種砂質的砂。砂中的水量調整在大約 9 %左右，應同時考慮切屑或粉屑中的水量而予以增減。砂對鎂屑的比例，重量比從 4:6 到 3:7 皆可，建議以 4:6 行之。若砂少的時候，砂中的水量要再多出 1~2%。焚化的進行依切屑形狀有所不同，所以處理前要先取得最適合的條件後再進行。在嘗試設定這些條件時，宜先少量進行，先得對砂處理量的比例較低者開始，若燃燒無法順利進行時，再增加其量。焚毀作業最好在無可燃物，或可燃物不會起火的安全場所進行。燃燒區要在鋪滿 7cm 厚的砂堆上進行。若鋪了砂後，即使是在混凝土上亦可，但必須砂堆還要稍微厚一點且砂中要含少量水份較好。水份要比燃燒用砂少一點。若在混凝土上直接燃燒，混凝土會因燃燒而熱裂，燃燒中的鎂合金會四處飛散，很危險，絕對不可行。另若直接在鐵板上燃燒，則因鐵板會分散熱量，混合物無法到達一定的燃燒溫度，造成不完全燃燒而會產生氮化鎂合金。焚毀時，與其大面積的鋪滿砂，還不如以 30~40cm 寬的帶狀鋪設方式來得安全。盛放焚毀物的東西，要考慮起火的可能。端部要呈三角狀，從三角狀的頂點可進行 gas 點火器者，較為適當。若無適當的點火器，可將已稍微沾到水的鎂合金，少量放在三角頂點，用紙屑使其著火即可。點火器要使用長柄狀的東西，要穿著防火衣，防災面罩，謹慎地進行。要特別留意氣象，在無風或微風狀態下進行。處理少量乾燥切屑時，可利用建築用的空心磚。將幾個空心磚鋪設成圍牆狀，空心磚以水完全溼透並在空心區內灌滿水，再將乾燥切屑鋪滿圍牆內，厚度 5 公分。利用點火氣點燃，如此切屑及粉屑著火時可充分燃燒。這種做法的重點是水份要充足，如此一來甚少會產生白煙，上層的切屑用砂覆蓋使其看不到，覆蓋的砂最好含少量的水。另曾在(1)項所述，用含適量水份的砂與切粉的混合物此法燃燒的話，產生白煙的情況少，且安全性高。此時，空心磚內先充滿水會較有燃燒效率。處理濕的切粉時，應事先將少量的切屑與砂混合，確認燃燒狀況後再進行作業。焚毀時的火燄，紫外線很強不可直視。
- (3)環保的角度來看，最好的鎂合金廢棄物處理方式應為焚化爐處理。從現代的焚化處理技術來看，興建針對鎂合金廢棄物所適用的焚化爐應該不是問題。

由於鎂合金本身就會自燃，因此，這類焚化爐的燃料費幾乎微乎其微，主要的投資成本都在焚化爐本身及其維護費用。再者，利用焚化爐焚化可以減少廢棄物的重量約 1/4~1/3，所減少的體積更是難以估算。長期而言應該會比請廢棄物處理公司代為處置來得合算才是。

(4)掩埋焚化後的灰爐前，一定要確認有無未燃燒的鎂或氮化鎂。檢驗的方法很簡單，只要將水倒入約 200ml 的玻璃杯，投入焚化後的殘渣，如果氮化鎂就會產生了阿摩尼亞氣體，如果有殘留的鎂就會產生氫氣。另外，燃燒後的灰爐如果用火再次燃燒，則未燒盡的鎂會霹哩啪啦閃閃發光地燃燒，如此亦可以辨認灰爐內容物的多寡。灰爐若有未完全燃燒的鎂或氮化鎂，不可就這樣丟棄，必須先充分的撒水或泡水，待氮化鎂完全分解後再用大量的沙混合，然後方可依直接掩埋的方式處理。不論是再燃燒或灑水，處理灰爐的場所一定要選擇在通風良好的地方。掩埋要點與直接掩埋相同。

3.化學處理

切屑、粉屑以化學處理可能是一個比較安全的處理處理方法，尤其是含有切削液的切屑以及含有水分的粉屑，若非採用焚化爐焚化處理則焚化作業的危險性會提高許多。經過化學處理後的廢棄物同樣應依規範進行廢棄掩埋處理。

化學處理的方法，依美國防火協會（National Fire Protection Association, NFPA）所推薦的，在氯化鐵或氯化亞鐵溶液中浸漬切屑或粉屑，則鎂合金會在 24 小時內變化成水、氧化鎂及氯化鎂，呈現淡褐色半乾燥的泥狀物，無法再燃燒。

氯化鐵法一般係以濃度在 5% 以下的氯化鐵溶液與鎂合金切屑混合，比例為 1：0.6。氯化鐵($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)係作為觸媒之用，反應較為緩慢而安全，也因此，對於複雜形狀或大型的處理物可能無法完全處理，會殘留鎂金屬。另外，氯化鐵比較少用，市場小，必須事先準備。

氯化亞鐵法一般係以濃度在 1% 的氯化亞鐵溶液與鎂合金切屑混合，比例亦為 1：0.6。氯化亞鐵腐蝕性強，溶解於水後會分解產生鹽酸 $\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{HCl}$ ，另外，含結晶水的氯化鐵($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)本身已含鹽酸，兩者都會與鎂合金起激烈反應，濃度高時危險性更高，必須稀釋到安全濃度方可使用。一般市場可取得 40% 左右的溶液。處理液的操作、處理方式等，要制定比氯化鐵法更嚴謹的作業標準。另由於此法反應激烈，乾燥的切屑、粉末等要弄

濕再倒入處理槽才安全，若在乾燥狀態時倒入，會產生激烈的反應可能併發危險，要特別注意。

不論何種方法，處理後的廢物呈液態無法直接廢棄，必須脫水處理。為簡化脫水作業，通常會利用處理中的反應熱，對處理後的廢棄物加溫使達到乾燥狀態而可以直接廢棄。為此，在處理過程中要適當選擇溶液的濃度及反應時間，同時溶液的製作以及處理方法等一定要製定一個作業標準，確實執行。

處理最後要做最終確認，乾燥殘渣是否持續燃燒。務必等完全反應完畢方可進行最終廢棄掩埋。掩埋要點與直接掩埋相同。

4.水解處理

在上述幾種處理方法中，化學處理一定會產生污泥，目前廠商的一般做法是直接請廢棄物處理公司清運處理。對於廢棄物的再利用並無任何幫助。

固化處理係對於污泥的進一步處置以利於以後以掩埋、鋪路、填海或海上拋棄作為最後處置，這對於廢棄物的再利用是絕佳的方法。對於事業廢棄污泥很少以生成的狀態就施以最終處置，一般均施以某種程度的中間處理，包括脫水、乾燥等過程，尤其若含有害物質時，在最終處置前還必須經過安定化的固化處理才行。固化方式有許多，鎂合金本身並非有害物質，以最經濟簡單的水泥固化法應已屬足夠。

採用固化法時必須考慮到安全性、耐久性、經濟性等問題，因此不管用何種方法所得到的固化體必須經過強度與溶出試驗測試，以達到國家標準為原則，然後才能作最終處置。

除了化學處理後的污泥可固化之外，鎂合金切屑與粉屑也可以直接固化或者是焚化後再固化。至於熔渣則必須已經過細化才有辦法固化，成塊的熔渣或回收料是無法直接固化處理的。因此，對於生產全套鎂合金成品（非單純壓鑄）的廠商而言，以焚化→固化→最終處置的流程來處理回收料可能是最合乎長期利益的一種方法，如果短期內不符經濟效益則不妨採取策略聯盟的方式與環安公司合作處理。

3.2.4 鎂合金廢棄物產生量概估

對於鎂合金的生產製造而言，主要廢棄物產生是在壓鑄的生產製程中，鍛造與沖壓所產生的廢棄物非常少且是非常高等級的廢料，就算不回收在市場上也可賣得不錯的價格。目前國內鎂合金主要的生產方法還是壓鑄，而各種廢棄物的產

生往往也是壓鑄的相關製程，如流道、澆冒口，或是後續加工產生的加工屑，表面處理過後產生的不良品等。

國內每年的鎂合金廢棄物中，大部份進了鎂合金的專業回收廠，或是回母廠製成與原生錠同等級的回收錠，少部份則製成犧牲陽極、鋁合金的添加錠或是用於鋼鐵脫硫等。其中，鋁合金的添加錠常因鋅含量的問題，所以以 AM60 系列的廢料製成添加錠為主。

由表 3.2 我們可以得知，2005 年成型廠回收錠的使用量為 3,200.4 噸，回收量估算約為 4,919 噸，國內目前的回收廠約有三家，其中兩家使用有鹽法，一家使用無鹽法（廠內回收），若以一噸的批次坩鍋爐計算（0.5 噸 x2），每年的回收量約在 2,000~2,500 噸（滿載），故國內的回收量還有很大的成長空間（約五成）。

廢棄潤滑油類產出情形視機台與其稼動率而定，通常需定期更換，以確保成型機之運作正常。以國內某家鎂合金成型廠具 19 台壓鑄機，每月有 500 公斤之廢棄潤滑油量，而全國內目前有 172 台壓鑄機，以此機台數為基準計算，2004 年國內鎂合金成型產業約有 60 噸廢潤滑油產生。

表 3.2 國內成型用鎂合錠的用料量統計

單位：公噸

項目	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年
進口壓鑄用 鎂合金錠(1)	4,442.0	6,483.4	7,740.0	9,160.7	7,113.3
進口鍛造用 鎂合金錠(2)	17.9	34.3	43.5	39.2	22.0
回收料用量(3)	—	—	~2,200	~4,435	3,200.4
表面消費量 (1)+(2)+(3)	4,459.9	6,517.7	9,983.5	13,634.9	10,335.7

註：表面消費量為熔解量（(1) + (3)）加上擠壓鍛造（2）用料量

資料來源：鎂合金產業通訊季刊 No.33（2006 年 5 月）

第四章 清潔生產

「清潔生產」這一理念是 1989 年由聯合國環境規劃署（United Nations Environment Programme, UNEP）所提出。由於，此觀念較為新穎且具有動態，所以其定義與作法可能會隨不同國家、地區而異，或是其發展可能會隨時間而變。因此，1997 年 UNEP 遂將清潔生產(Cleaner Production, CP)定義為：「持續地應用整合性污染防治理念於製程和產品之開發，以及服務之提供；期能增加生態效率，減少製程、產品和服務對人類及環境之有害影響。」

- 1.對製程而言，其所需之原料和能源需儘可能地節約，儘可能不用有毒性之原料，並減少排放物之危害性和毒性。
- 2.對產品之生產而言，由最原始之原料到產品棄置整個產品生命週期，皆要儘可能減少對環境之影響。
- 3.對服務而言，由系統設計，到提供服務所需之資源消耗，乃至整個服務生命週期，皆要儘可能減少對環境之影響。

因此本章節以環境化設計及廠內管理的觀點，敘述鎂合金成型產業於產品設計及生產活動過程之污染預防策略。

4.1 環境化設計

鎂合金成型產業依據成型方法的不同，可粗略地以圖 4.1 來表示。以國內鎂成型產業之主要製程-高壓鑄造（High Pressure Die Casting）為例，其製造流程可以圖 4.2 說明，為達成清潔生產與永續經營目標，於成型產業的各個環節均需注重節能減廢、公共安全、環境保護等要項。以下針對鎂合金成型生產環節逐一說明：

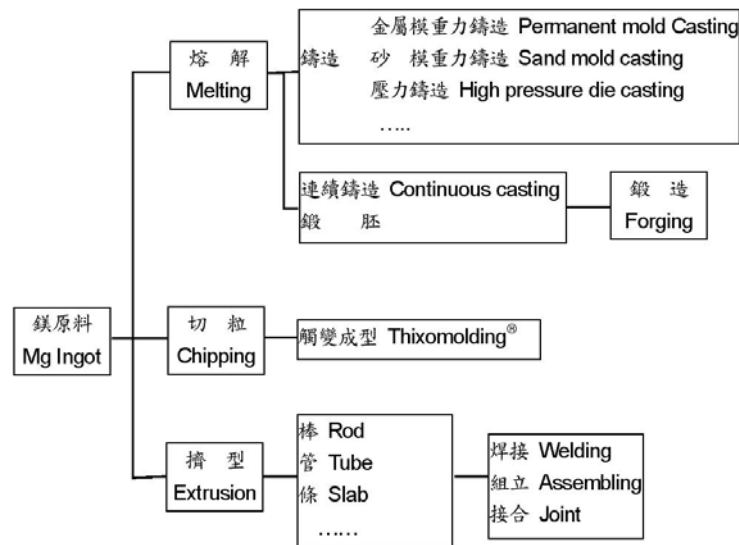


圖 4.1 主要鎂合金成型工法

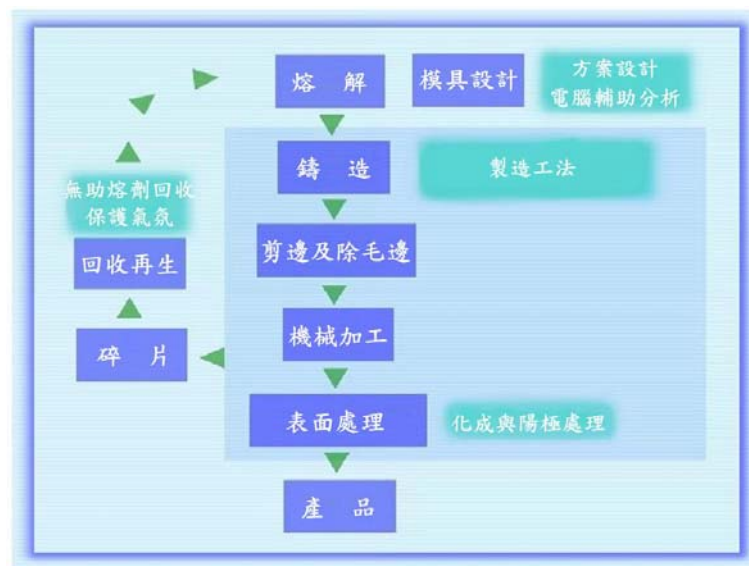


圖 4.2 鎂合金壓鑄成型流程圖

4.1.1 生產模具設計

廣義之清潔生產意指由生產製造前端之設計時，即融入節能減廢的觀念。鎂合金成型產業的前端設計階段，通常為生產用模具之方案設計工作。如圖 4.2 所示，模具設計的工作如能輔以當今之計算機軟硬體工具來加以作最佳化設計，將

能夠有效減少直接與間接之產品開發成本，並減少開發試誤（Trial and Error）的工作。

目前電腦輔助工程分析的技術已相當成熟，國內外許多研究機構與學者亦針對該門技術投入相當多的心力並且成果豐碩。就壓鑄技術來說，特別是外觀件，如：手機外殼、電腦外殼...等，電腦輔助最佳化設計除有效減少澆流道（Gate and Runner）重量比例外，亦減少產品之鑄造缺陷，提升製造良率。倘若能善用電腦輔助工程分析，其所減少的資源損耗可說是相當可觀。

4.1.2 材料熔解

目前台灣並未生產鎂合金之原材料，仍需仰賴國外進口。主要的來源進口國依據台灣鎂合金協會之統計資料顯示：合金錠方面主要為挪威、中國大陸、以色列、澳洲...等國；在觸變成型產業（Thixomolding®）所需之鎂合金切粒則主要由日本與中國大陸所提供。

在熔解能量損耗上，鎂合金材料因具有比熱與熔解潛熱較小之特性，所需要的熔解能量亦較為少。雖說如此，鎂合金材料的熔解，仍有需要加以注意以及可節省能量損耗之處。由於常用之鎂合金材料，如：AZ91D、AM60B、AM50B...等，熔湯均存在有鋁（Al）、錳（Mn）等合金元素。由於鋁錳中間界在金屬（Inter-Metallic Compound）之析出溫度略較鎂合金材料熔解溫度高（鎂合金熔點約為 650℃），因此，當爐內熔湯溫度場差異較大時，容易使合金元素形成中間界在金屬相而下沈，逐漸累積於熔解爐底側形成沈渣。則作業者需定時加以撈除，避免影響生產良率與產品品質。因此，除去的沈渣越多，除代表廢棄之事業產物增加外，材料的浪費、熔解能源的浪費、生產成本的增加...等，均不符清潔生產之精神。所以，熔解爐內之溫度場是否均勻，對爐內沈渣（Sludge）之產生量有絕對之影響。

對此，國內鎂成型業者亦提出許多改善方案，如：具專利之新型鎂合金材料熔解爐結構，改善鎂熔湯於熔解爐內之溫度場均勻性，可有效降低沈渣的產生量，減少資源與能量之損耗。此外，國外業者亦有相關周邊設備，如：適當設計之爐內攪拌裝置、改良型之熔解爐坩鍋形狀...等，其主要目的均為提高溫度場均勻性。

除此之外，在熔解工程之節能與能源再利用上，亦有許多新創意被提出。如：材料於投入熔解時，均需要加以預熱（Pre-Heating）以避免因水分子體積迅速膨脹成水蒸氣所造成的熔湯噴濺危險。傳統上，熔解周邊設備均會包含一瓦斯或天

然氣加熱之材料預熱機，事先將材料預熱至投料溫度。然而，熔解爐內所排出之熱能，特別是以燃燒機（Burner）做為熔解能量的熔解爐，將廢熱引導至預熱機中，來讓材料吸收以達預熱及能源充分應用目的，為新型預熱設備之精神。除減少廢熱排入環境之外，亦收能源節約之效。

4.1.3 鑄造工程/成型工程

鎂合金成型產業鑄造及成型生產過程中有關清潔生產之重點分別說明如下：

1. 生產用噴塗溶液

不同的鎂成型產業均需要不同的配套工具才能使生產順利，如：擠型與鍛造成型需要潤滑劑；金屬模鑄造成型需要噴塗離型劑；砂模鑄造成型需要防燃物如硫粉…等。目前，該些物質均採用無毒害、高稀釋比例（ie.意指溶液主成分為水）…等，其反應後產物對環境之衝擊較小，無公害之虞。

2. 下腳料之回收作業

鑄造工程之清潔生產重點，應為產品下腳料之回收再生資源重複使用的概念。透過適當的回收再利用方法，可以降低產業材料使用成本外，亦是產業清潔生產之要項之一。依據鎂合金材料下腳料之分級，目前台灣仍僅止於第一級廢料之回收，如：產品流道、澆道、料頭、回收品…等，體積比（體積(V)/表面積(A)）較大之下腳料來進行回收再生。主要之原因為體積表較大之下腳料，擁有較多比例之未污染材料，所得出之材料回收率較高，處理過程較容易。然而，一級以外之廢料，如：機械加工切屑、烤漆回收品、沾油廢料…等，亦有許多單位正進行研究試作，期能達到更多的材料回收效益，促進清潔生產目標。

目前材料回收再生之方法，可分為助熔劑回收法（Flux Recycling）與無助熔劑回收法（Non-Flux Recycling）兩類。以清潔生產之角度來說，無助熔劑之回收再生方法可減少助熔劑所產生之氯氣，屬於較環保之製程。但對第一級以外的下腳料來說，少了助熔劑的精煉將無法有效地去除表面氧化物與雜質。因此，降低助熔劑使用比例、提升助熔劑使用效率、有效處理製程廢氣將為回收再生作業之重要工作。

3. 防燃保護氣體

由於全球環保意識普遍提升，對於製程中可能有影響環境之虞的使用物

質，皆可能日益緊縮及管制。而鎂材料經熔煉後，於高溫下（大於 550°C 時）熔液與空氣中的氧氣反應（氧化/燃燒現象），形成氧化鎂等殘渣物質覆蓋於熔湯表面，進而破壞熔湯品質。目前，業界普遍採行以空氣（Dry Air）/二氧化碳（CO₂）/六氟化硫（SF₆）的混合氣體來保護熔融鎂湯。藉由上述混合氣體與鎂湯產生反應而形成保護層阻斷鎂與氧氣產生燃燒現象。表 4.1 為國際鎂合金協會(International Magnesium Association, IMA)所建議之防燃氣體使用濃度比例。

表 4.1 防燃氣體之使用濃度比例

Melt temperature °C	Recommended atmosphere over melt (vol. %)	Operating Conditions		
		Surface agitation	Flux contamin.	Melt protection
650-705	Air + 0.04% SF ₆	No	No	Excellent
650-705	Air + 0.2% SF ₆	Yes	No	Excellent
650-705	75% air/25% CO ₂ + 0.2% SF ₆	Yes	Yes	Excellent
705-760	50% air/50% CO ₂ + 0.3% SF ₆	Yes	No	Excellent
705-760	50% air/50% CO ₂ + 0.3% SF ₆	Yes	Yes	Very good

如上表所示，目前鎂合金熔湯之防燃氣體多使用 SF₆ 氣體。然而，該氣體具有較大之溫室效應潛值（22,200, ie. CO₂ 為 1），未來不僅限制排放，在使用方面亦將逐步受限。因此，研發 SF₆ 替代氣體已成為當今最盛行之計畫主題，目的在解決安全性與無環境污染之問題。表 4.2 為國內外各項覆蓋氣體之研究成果總覽。表中之 SO₂、BF₃ 由於使用後產物（SO₂、HF）為有害物質，在使用安全性上有工安疑慮。此外，SO₂ 為空氣污染防制法中受規範之氣體，在操作使用處理上將較困難。澳洲公司專利之 HFC-134a 氣體雖為安全物質，但其溫室效應潛值仍有 1,300。3M 公司之 Novec612 及其改良氣體，標榜溫室效應潛值為 0，可永久解決排放氣體的問題。然而，多數之解決方案仍受價格較高、具有專利問題等因素影響，尚未能被台灣鎂成型產業所接受。

表 4.2 國內外各項覆蓋氣體之研究成果總覽

	蒸氣密度 空氣= 1	容許濃度 ^{註1} (ppm)	溫室效應潛值 CO ₂ = 1	防燃氣體使用實例
SF ₆	5	1,000	22,200	0.3~0.7%+空氣/CO ₂
SO ₂	2.3	5 (STEL)	-	0.8% + 空氣
BF ₃	2.3	1 (Oeiling)	-	0.5~1% + 空氣
HFC-134a	3.5	1,000	1,300	0.3% + 空氣
Novec 612	10.9	150 ^{註2}	1	0.01% +空氣/CO ₂

註 1：TLV-TWA (ACGIH)

註 2：目前尚未有正式之容許濃度，該數值為 3M 公司暫訂標準

4.鑄造射料與毛邊

本節之所以提及鑄造射料與毛邊產生，特別是壓鑄成型業，主要因為該問題時常被忽略，而使得產業受到累積性的材料損失。鑄造射料與毛邊的發生，通常為模具之配合精度與合模精度不良所引起。在壓鑄高速高壓射出成型下，金屬熔湯由間隙中被擠出，細小的高溫液滴於作業環境中飛散，稱之為射料；若間隙較小，於擠出過程中隨即於模具中凝固，則形成產品毛邊。射料與毛邊的重量雖僅占成品之極少部分，但面對壓鑄連續大量生產之特性時，除可能造成射料飛漸高溫傷及作業者外，所累積之材料耗損亦相當驚人。典型的鑄件毛邊問題改善前後之差異如 4.3 圖所示。

該問題除透過提高模具加工精度來解決產品毛邊與射料問題外，透過合模機 (Die Spotting Machine) 來提高模具合模時的準確性也是常用的手法之一。合模機的主要用途為調整模座 (Mold Base) 與模仁 (Mold Core)、公模與母模間之平行度與合模接觸精度，減少可能存在之間隙。此外，合模機亦可外加射蠟成型功能，於模具正式上線量產之前，可預先防範精度不良之問題，有效縮短開發試作及改善時間。典型之合模機外觀如圖 4.4 所示。



圖 4.3 鑄件毛邊問題改善前後之差異



圖 4.4 合模機之外觀

4.1.4 機械加工

目前之壓鑄生產技術已可達到近淨成型（Nearly Net Shape）之精度，也就是說，鑄造後鑄態素材所獲得之產品尺寸與精度以可以相當接近成品尺寸與形狀外

觀，無須透過複雜的機械加工程序，來製作所需之零組件。因此，鑄態之素材僅需要於幾個配合面精修至圖面尺寸、螺絲孔攻、巡牙即完成機械加工程序。因此，省去不必要之加工材料與時間，減少加工產生之切屑、廢料，亦為清潔生產之重要概念。

也正因為僅需要極少之切削量，即完成切削機械加工工序，因此所產生之切屑，往往為較細小、體積比較小之切屑，因此較不利於後續之材料回收再生作業。主要為當切屑類體積比較小時，鎂切屑容易於回收作業中產生氧化或燃燒反應，而形成氧化鎂浮渣（MgO Dross），而降低回收效率。因此，降低投料時的氧化反應與增加切屑總體積比的回收方式，有效提高切屑回收效率，則成為研究專題的重要調查項目。

4.1.5 表面處理

鎂合金材料由於具有較活潑之金屬特性，因此極度容易與外在環境的腐蝕因子產生化學反應，而形成氧化的腐蝕現象。如此一來，產品之壽命受到影響，破壞機率大增且品質可靠度也產生變異。因此，若不能善加處理鎂合金材料之防蝕表面處理的問題，則鎂合金材料之使用範疇亦將受到極大的限制。目前，常用的鎂合金材料防蝕表面處理手法可略分為兩類，其處理流程如圖 4.5 所示：

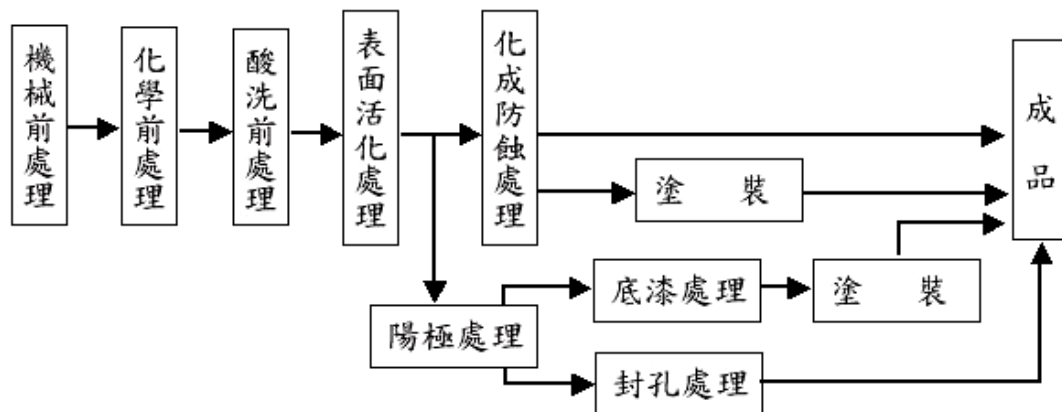


圖 4.5 鎂合金防蝕表面處理流程圖

如上圖所示，鎂合金材料之防蝕手法，可分為化成防蝕處理與陽極防蝕處理兩大類，其說明如下：

1. 化成處理（Conversion Coating）

所謂的“化成處理”為將鎂合金材料浸泡入特定的藥液中，以化學反應方

式在金屬表面上產生氧化膜或無機鹽類的薄層皮膜 (Thin Film)，該層皮膜可作為金屬的防蝕層或當作噴漆塗裝前的預處理，用來增加金屬與色漆間的附着力。此外，化成處理有時也被當作金屬的著色處理使用。而化成處理之皮膜通常具有下列特性：

- (1)將基地金屬 (Matrix) 與具腐蝕性的液體或因子隔離。
- (2)需與基地金屬緊密結合，不易分離。
- (3)需為良好的塗裝基底。

較早期的化成處理方法，如：日本表面處理規範 (JIS H 8651) 與 Dow 公司之方法 (Dow No.1, 7, ...) 等，多數均採用鉻酸鹽為處理液之主要組成物。利用這類溶液所得到的表面被覆膜為極佳的噴漆底層且可以有效的抵抗大氣環境或腐蝕環境的侵襲，避免鎂合金材料產生腐蝕作用。較具代表性的溶液主成分有：三氧化鉻 (Cr_2O_3)、鉻酸鹽 ($(\text{Ml})_2\text{CrO}_4$)、二鉻酸鹽 ($(\text{Ml})_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)。然而，隨著清潔生產觀念逐漸獲得重視下，對人體有害且可能嚴重污染環境的六價鉻 (Cr^{6+}) 逐漸遭到禁止使用。歐盟、美日等國紛紛制訂禁用與取代時程，使得鎂合金成型業者與研究單位均投入取代品之研發。

非鉻系處理法為目前各界所積極開發的新製程，用來降低化學處理法的化學物質對環境保護及人體健康的衝擊。現階段中以磷酸鹽法、釩酸鹽法和亞硒酸 (H_2SeO_3 acid) 法較易於文獻中查詢到，其中又以磷酸鹽法為較多學者加以討論研究。而目前之成型業者也均投入非鉻系化成處理法的製程，為清潔生產之目標邁進。

2.陽極處理 (Anodizing Treatment)

所謂的”陽極處理”是將被處理之鎂合金材質工件置於電解電池 (陽極處理槽) 的陽極位置，且施加及控制迴路電壓、電流參數於適當之範圍中，使在陽極工件的表面上進行化學反應，並沈積化學產物形成防蝕氧化層，利用此法產生表面氧化被覆稱之為陽極處理。陽極處理法中具有許多條件參數，如：溶液種類、溶液組成與濃度範圍、陽極處理電壓與電流範圍、陽極處理溫度設定與控制、溶液攪拌與系統擾動控制...等處理參數。

如同前一小節所述，早期鎂材料的陽極處理藥液主要成分也是由鉻酸鹽所組成。主要之原因為鉻酸鹽所形成之氧化鉻皮膜具有較緻密且穩定性較佳的優點，因此多數之藥液均採用鉻酸鹽來發展，如：Dow 公司之 Dow No.20、HAZ

法…等。然而六價鉻的禁用，也迫使該製程藥液需尋求其他化學成分來加以取代。

目前微弧氧化 (Micro-Arc Oxidation) 的方式逐漸被成型業者所採用。該製程早期為蘇聯所開發，用來製作鋁合金、鎂合金之表面防蝕與表面改質（如：提高表面硬度、增加氧化層厚度…等）。透過超高電壓的輸入，使陽極之工件產生微小的電弧效應，在局部高電壓與高溫下，形成堅固的氧化防蝕層。經過許多研究單位的改良與開發，目前已有許多商業化之設備，且為台灣之鎂合金成型業者所採用，如圖 4.6 所示。新型的陽極處理法標榜無使用強酸與強鹼，且不使用含重金屬之藥液，相當符合清潔生產與環保的要求。



圖 4.6 新型陽極防蝕處理生產線

4.2 廠內管理

4.2.1 廠內工安要項

從事鎂合金成型與其他之金屬成型，除高溫作業之危險外，鎂合金活性高、易氧化、易燃燒的特性，更是工安規範不得不重視的一環。日前，日本因其國內對鎂合金材料的熔解鑄造、加工等等的專業處理廠數量較少，為了讓鎂合金相關生產製造之企業對鎂材料有充分的安全防護觀念，於是日本鎂合金協會將鎂合金產業相關之可能的災害事故例及安全防護之建議等做成報告書。其中，利用問卷調查來統計各個環節之製程中，可能發生災害事故的比例，如圖 4.7 所示。

由其統計圖表中可以發現，災害發生率最高的狀況為機械加工或精修後處理加工的階段。其餘分別為：熔解作業時、廢棄物儲藏置放階段與鑄造作業階段等

等。鎂成型業者為達清潔生產之目的，仍不得不重視公共安全、作業環境安全等要項，且將其列入廠內管理之嚴格執行工作之一。以下就廠內應切實執行之要項作一說明：

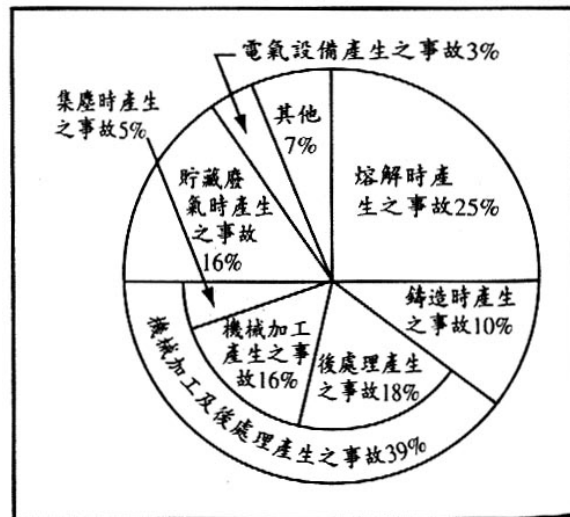
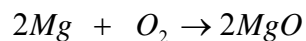


圖 4.7 鎂合金作業中之災害發生分佈(日本)

1. 鎂合金材料之火災消防

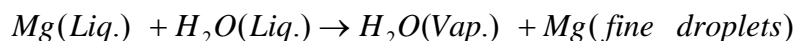
於鎂合金製程中發生鎂金屬火災時，由於鎂參與氧化反應會放出刺眼的白光與氧化鎂微粒煙霧：



因此，未經訓練的作業者往往因慌亂而手足無措。此外，與其他類型火災相異之處為鎂金屬與水反應時將產生可燃性氫氣，將使火災之規模更加劇烈，無法達到撲滅的效果：



再者，當水遇到高溫時，迅速形成水蒸氣且體積膨脹增加千倍，因此可能伴隨熔融之鎂液滴形成劇烈噴濺，導致高溫灼傷。因此，鎂金屬之火災絕對不可以使用水來進行撲滅：



鎂合金成型業者需於明顯位置備製適當之消防用劑：小型火災時，可採用乾砂或乾淨鐵屑來加以覆蓋燃燒中的鎂；較大型之火災時，需使用 D 類金屬火災用消防器材來加以滅火，如圖 4.8 所示。

除此之外，定期的消防演練(如圖 4.9)與火災知識教育也是鎂成型業者不可忽略的重點。讓從業人員能親自感受鎂燃燒之狀態，進行鎂燃燒火災之撲滅，將有助於緊急狀況之正確反應。



現場消防乾砂(左)



消防乾砂桶(中)



D 類金屬滅火器與拉車(右)

圖 4.8 鎂合金成型業者之消防準備例



圖 4.9 鎂燃燒火災之消防演練

2.精修工程與機械加工式

災害發生率最高的工程為機械加工或精修後處理的階段（如：磨毛邊、噴砂、珠擊…等），且通常是由切削屑或研磨粉塵所引燃。由於切削進行時忽略了切屑的清理，或當粉塵等引燃火災時使用了錯誤的滅火方式（如使用水來進行滅火）導致火勢更加嚴重。

在機械加工方面，需注意事項包括：

- (1)選用適當刀具與狀態，正確設定機械加工參數。
- (2)使用適當之切削潤滑劑。

(3)避免切削屑過度堆積，保持周遭清潔。

(4)使用適當之切屑保存方法。

在精修與去除毛邊工程方面：

(1)注意作業周遭之環境清潔，避免鎂微粉之堆積。

(2)使用鎂合金專用之濕式集塵設備，可有效降低塵爆之危險性。

(3)切勿與其他金屬共用精修、研磨之工具與設備，避免產生爆炸。

(4)切勿使用如吸塵器等設備清潔集塵，該設備易產生微粉碰撞產生靜電火花。

(5)適當地處理微粉與切屑。

除先前提及之研究中的切屑材料回收再生研究外，目前業界較常使用燃燒處理與鈍化處理兩種。燃燒處理為將切屑等廢棄物引燃，使其形成安定之氧化鎂等產物，降低活性。鈍化處理為利用氯化鐵(FeCl_2)水溶液與鎂切屑進行化學反應，使其形成安定化之產物，如：氯化鎂，同樣可以降低鎂的活性，減少危險因素。然而，形成安定化產物後，如何能再加以資源利用，創造其他的附加價值，有賴業者與研究機構共同努力。

4.2.2 推動環保製程

1.各項資源回收再利用

減少事業廢棄物之重要手法，即為有效運用各類工程別產出物。

在材料再生方面：

(1)清楚分別各級下腳料，且採用適當之方法加以回收再生。

(2)目前尚無有效回收再生之廢棄材料，如：微粉、切屑等，研究適當的應用範疇，提高附加價值。

(3)儘量採用低污染之無助熔劑回收方法，降低廢渣與廢氣量。

在水資源方面：

(1)於各工程站別，循環使用冷卻水、切削水...等水資源，減少水資源浪費。

(2)正確使用各等級之水資源，如：減少製造純水之水資源損耗。

(3)設置廢水處理設備，並監控水內組成，杜絕污染物外排。

2.推動環保製程技術

(1)SF₆ 替代防燃保護氣體

如前所述，SF₆ 氣體因具有較高之溫室效應潛值，因此，各種替代用的氣體正陸續地被發表與試用。相信未來應能使用低環境衝擊、高可接受度之防燃用氣體。

(2)環保型表面防蝕處理技術

揚棄傳統之製程，使用非鉻之化成防蝕處理與陽極防蝕處理。目前非鉻之化成防蝕處理已相當普及，也已經用於各應用範疇中。在高防蝕效能的陽極處理方面，環保無重金屬污染的製程也陸續由國內外學者、研究機構所發展成熟，並且也有成型業者設立自動化生產線。

第五章 廢棄物資源化技術

5.1 廢潤滑油資源化技術

綜觀未來能源必需有效地運用之趨勢，廢潤滑油可視為一可再利用之物質，故有許多資源化技術已被開發出來。截至目前，已有之廢潤滑油資源化技術，計有「酸—白土法」、「溶劑萃取法」、「蒸餾法」、「薄膜氫化法」、「薄膜白土法」、「溶劑萃取氫化法」及「低溫批次法」等技術，現分述如下：

5.1.1 酸—白土法（Acid-Clay Process）

過去傳統廢潤滑油回收處理方法均採「酸—白土法」居多，其原因在於設備操作彈性大。但其存在油品回收率低（約 50%）、無去除鹵素物之處理能力等缺點，因此易造成嚴重之二次污染問題。此法之處理流程如圖 5.1 所示，各處理單元之技術特點，說明如下：

1.脫水（Dehydration）

利用重力或加熱方式來分離廢潤滑油中之主成份、輕油及水，以便於後續之淨化處理。

2.酸處理（Acid Treatment）

初步改善再生油品顏色為本處理單元之主要功能，首先將初步脫水處理後之廢潤滑油，藉由加入濃硫酸，來使廢潤滑油中具有活性之碳氫化合物與之反應形成聚合物而成酸性污泥；同時中和廢潤滑油中之鹼性氮。

3.沉澱分離（Sedimentation）

以重力沉降靜置方式（約 16~48 小時），進行酸性污泥沉澱並分離之。

4.白土處理（Clay Treatment）

利用添加白土（即矽酸鋁或瓷土）於廢潤滑油中，以去除仍殘留於廢潤滑油中膠狀成份、雜質、蠟質成份、有機酸等，同時進行脫色工作。

5.過濾分離（Filtration）

然後經過泵浦送入過濾設備（如板框式過濾器）分離出廢白土及再生基礎油產品。

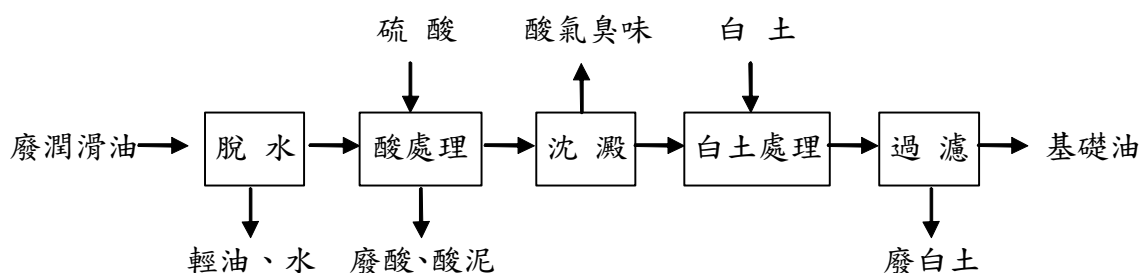


圖 5.1 酸－白土法回收處理廢潤滑油流程

5.1.2 溶劑萃取法（Solvent Deasphalting Process）

採用溶劑來萃取廢潤滑油中之重金屬、膠狀瀝青成份等雜質。其回收率較「酸－白土法」高（約 60~70%）且產生之廢酸及酸泥少（約為「酸－白土法」1/10 之產生量）。但是對鹵素化合物之污染仍無法處理，而且設備投資及操作費大，且能源消耗多（因為需考量溶劑回收問題）。此法之處理流程如圖 5.2 所示，各處理單元之技術特點，說明如下：

1. 脫水（Dehydration）

此單元功能在於去除廢潤滑油中過多之廢水，以便後續處理作業能單純化。

2. 溶劑萃取（Propane Extraction）

利用丙烷（以溶劑使用）添加於廢潤滑油中，其目的欲將廢潤滑油中之懸浮物質、瀝青／金屬化合物、樹脂等雜質一併沉澱。

3. 離心分離（Centrifugal Separation）

利用離心程序將上層（萃取液）與下層（殘留不溶物）進行分離工作。

4. 汽提回收溶劑（Stripping Propane）

利用加熱汽提程序，來進行丙烷溶劑與廢油分離工作，其中溶劑再循環使用於萃取過程。

5. 酸－白土處理（Acid-Clay Treatment）

廢潤滑油經過溶劑萃取後，再回至用「酸－白土法」程序進一步處理。

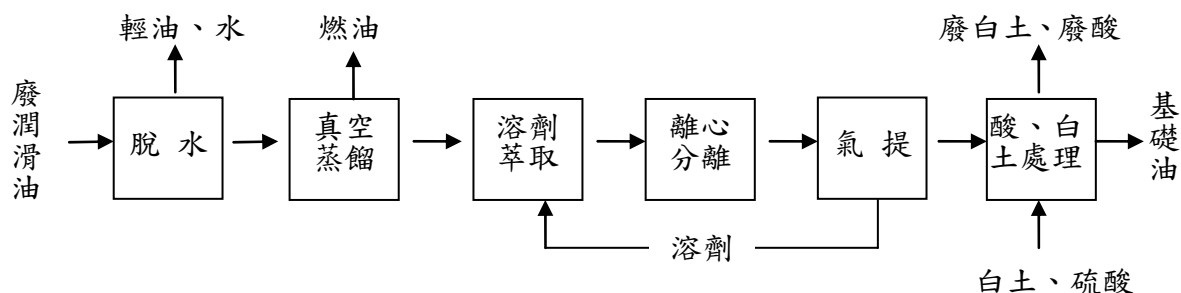


圖 5.2 溶劑萃取法回收處理廢潤滑油流程

5.1.3 蒸餾法 (Distillation Process)

「蒸餾法」不同於「溶劑萃取法」，其差異在於廢潤滑油在進行「酸—白土法」處理前，先以真空蒸餾處理方式來提高廢潤滑油之淨化效果，其回收率約 60～70%，且衍生之硫酸白土、廢酸、酸泥等均與「溶劑萃取法」相差不多，而且對鹵素化合物之污染亦無法處理，其最大缺點則為投資成本、操作費用均大為提高（對「溶劑萃取法」而言）。此法之處理流程如圖 5.3 所示，各處理單元之技術特點，說明如下：

1. 脫水 (Dehydration)

與「溶劑萃取法」類似，此單元功能在於去除廢潤滑油中過多之廢水，以便後續處理作業能單純化。

2. 真空蒸餾 (Vacuum Distillation)

利用真空蒸餾方式將廢潤滑油先進行去除殘渣及膠狀雜質，以利後續之「酸—白土處理」。

3. 酸—白土處理 (Acid-Clay Treatment)

廢潤滑油經過真空蒸餾去除雜質後，則進一步採用「酸—白土法」處理。

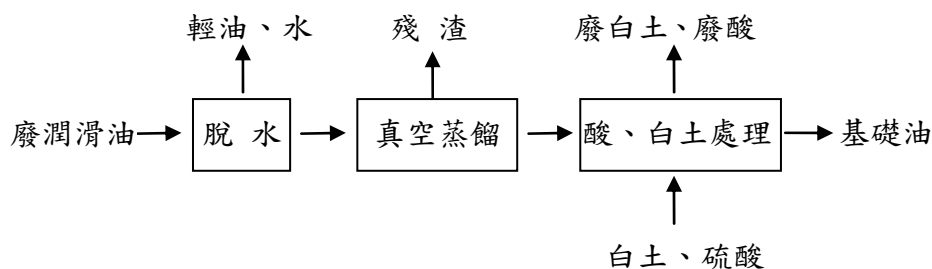


圖 5.3 蒸餾法回收處理廢潤滑油流程

5.1.4 薄膜氫化法 (Thin Film/Hydro Treating Process)

「薄膜氫化法」其主要特點在於具有高效率去雜質及免除二次污染產生之功能。換言之，乃利用高效率薄膜蒸器來分離廢潤滑油與其他雜質，同時藉由加氫來淨化廢潤滑油以避免二次污染產生，進而獲得高品質再生油品。此法之各處理單元之技術特點，說明如下：

1.脫水 (Dehydration)

於常壓下進行加熱蒸餾，脫除廢潤滑油中之水份及輕油，以便於後續處理之用。

2.真空蒸餾 (Vacuum Distillation)

於真空狀態下，將廢潤滑油中之輕質碳氫化合物蒸餾出來，主要為油氣成份。

3.薄膜蒸發 (Thin Film Evaporator)

於真空狀態下，利用高溫薄膜分離方式去除油中之殘餘物。如正常操作，其油品回收率可達 95%左右。

4.氫化分餾 (Hydrogenation/Fractionation)

本單元之氫化主要作用則在於去除廢潤滑油中之氧、氮、氯、硫等化合物，同時期能符合再生油之酸鹼度、顏色、氣味等規範要求。

5.1.5 薄膜白土法

此法如與「薄膜氫化法」比較，主要在於以活性催化白土處理取代氫化分餾過程，因此設備投資費用較少。另外，此法其他技術特點，則為無需加酸處理，因此無廢酸及酸泥產生。此法之各處理單元之技術特點，說明如下：

1.脫水 (Dehydration)

如「薄膜氫化法」同，於常壓下進行加熱蒸餾，脫除廢潤滑油中之水份及輕油，以便於後續處理之用。

2.薄膜蒸餾 (Thin Film Evaporator)

於真空狀態下，利用高溫薄膜分離方式去除油中之殘餘物。

3.白土處理 (Activated Clay Treatment)

脫色及去除雜質為此單元功能所在，可藉由加入具催化劑性質之活性白土與廢油接觸，來達成之。

4.過濾處理（Filtration）

然後經過泵浦送入過濾設備（如板框式過濾器）分離出油泥餅及再生油產品。

5.1.6 溶劑萃取氫化法

顧名思義，本法乃採用「溶劑萃取」及「氫化處理」來進行油品回收。一般而言，其投資成本高，但油品回收效果及再生油品品質均較上述方法佳，其實際應用案件尚不普遍。此法之各處理單元之技術特點，說明如下：

1.脫水（Dehydration）

此單元功能在於去除廢潤滑油中過多之廢水，以便後續處理作業能單純化。

2.丙烷萃取（Propane Extraction）

利用丙烷（以溶劑使用）添加於廢潤滑油中，其目的欲將廢潤滑油中之懸浮物質、瀝青／金屬化合物、樹脂等雜質一併沉澱。進而淨化廢潤滑油，以便於後續之氫化處理。

3.氫化處理（Hydro Finishing）

淨化及穩定油品品質為此單元主要目的，其可藉由氫化處理工作進行，來達成脫脂、脫硫、脫氮及芳香烴，分離氧化物、脫色等功能。

4.分餾處理（Fractionation）

氫化處理後之再生油品（基礎油），可依油品之規格要求，進行不同層次之餾處理。

5.1.7 低溫批次法

「薄膜氫化法」、「薄膜白土法」、「溶劑萃取氫化法」等資源化技術均採高溫連續操作方式，並將廢潤滑油再生為基礎油。如從經濟可行性分析，較適合於代處理業投資設置（考量處理能量因素）。至於小量規模之廢潤滑油回收處理，則可採用「低溫批次」方式來操作，此法之處理流程如圖 5.4 所示，各處理單元之技術特點，說明如下：

1.廢潤滑油分析（Used Oil Analysis）

先取樣分析每一批待處理廢潤滑油品質，以作為後續處理操作控制上的依據。

2.加藥處理（Coagulant Treatment）

添加特殊配方的凝集劑（配合溫度控制約 85°C），其目的在於去除廢潤滑油中之雜質。

3.真空蒸餾（Vacuum Distillation）

於真空狀態下，溫度低於 90°C 之操作條件下，去除水份及輕質溶劑等雜質。由於上述操作條件不會產生熱聚合反應，且廢潤滑油中之添加劑亦不會破壞。因此，對於再生油品之品質掌握將較不會影響。

4.過濾（Filtration）

將經過上述去除雜質之再生油品，再經過通過 0.5~1.0 μm 孔徑之過濾器，期能獲得更純淨再生油品。

5.調質處理（Final Adjustment）

再生油品可再依用途特殊需求，摻配必要之添加劑；調整黏度、閃火點等調質程序，使再生油品之特性及規格完全符合需要。

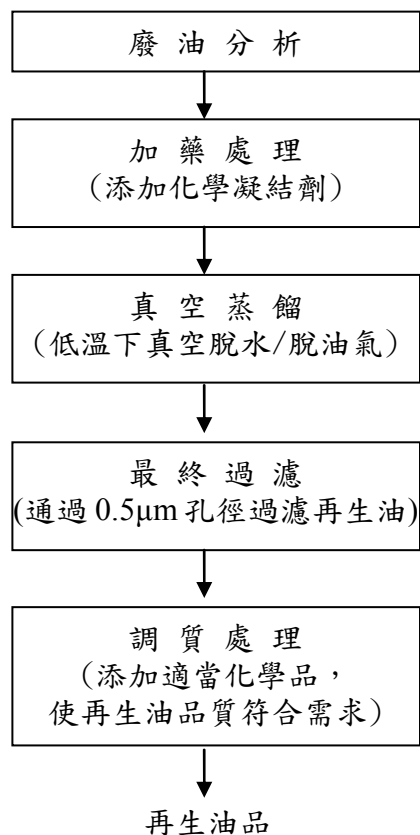


圖 5.4 低溫批次廢潤滑油回收處理流程

5.1.8 廢潤滑油資源化技術評析

廢潤滑油最普遍的再利用方法乃是將其做為替代燃料油使用，即使目前在歐美、日本等亦有 30~40% 仍採用之。但此一方法易造成二次空氣污染之慮，因此進料規範應嚴格要求。至於其他廢潤滑油資源化技術應用情形，如「酸—白土法」操作便利且具彈性，國內有許多回收廠採用此一方法，但是會產生嚴重的污染問題，因此國外也已漸漸廢止採用；傳統廢潤滑油資源化技術（如「酸—白土法」、「溶劑萃取法」、「蒸餾法」等）於過中均會產生廢酸及酸泥，易造成二次污染問題。因此，在歐美國家（如美、加、德、法等國）均已停止使用傳統方法，而改採無二次污染之最新回收處理法（如「薄膜氫化法」、「薄膜白土法」、「溶劑萃取氫化法」、「低溫批次法」等）。最後，就針對各廢潤滑油資源化技術之「經濟可行性」、「污染風險」、「技術成熟度」、「再生品」等方面，評析彙集於表 5.1，供各界卓參。

表 5.1 廢潤滑油資源化技術評析

技術名稱	再生品	經濟可行性	污染風險	技術成熟度
熱處理	替代燃料	中	中	高
酸－白土法	基礎油	低	高	高
溶劑萃取法	基礎油	中	中	高
蒸餾法	基礎油	中	中	高
薄膜氫化法	基礎油	中	低	高
薄膜白土法	基礎油	高	低	高
溶劑萃取氫化法	基礎油	中	低	中
低溫批次法	再生潤滑油	高	低	高

5.2 鎂廢料(1~4 級)資源化技術

對每一位壓鑄業者而言，莫不希望能以最低的原料價格，用最節省成本的製程，製作賣點最高的產品。然而很不幸的，對鎂合金壓鑄作業而言，大約只有 43% 左右的鎂錠真正被製造成成品。圖 5.5 所示是壓鑄生產過程當中，鎂料使用率的分配情形（日本壓鑄廠）。

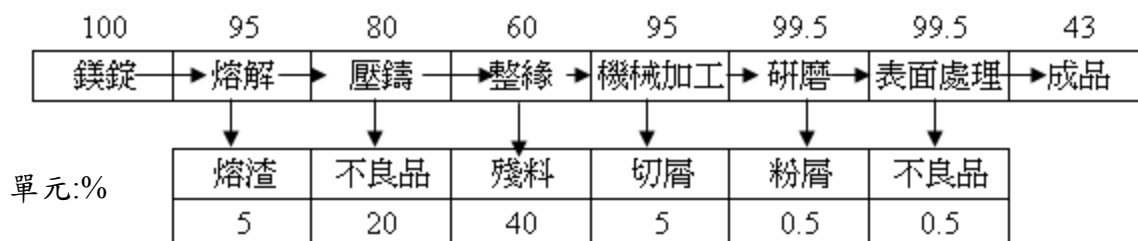


圖 5.5 壓鑄生產過程鎂料使用率

一般壓鑄的廢料以第 1 級及第 2 級為主，這是因為在壓鑄製程中，流道及澆冒口占了所有鑄件的 50% 以上，若是再加上壓鑄的不良品部份，那比例會比成品高很多。不可否認的，壓鑄技術越高，流道與澆冒頭的比例會較低，不良品也較少，以台灣目前的壓鑄技術而言，平均要生產一公斤的鎂合金鑄件，原料的使用要在 2.5 公斤以上，在日本，則平均生產一公斤鑄件僅需 1.8 公斤的原料。

若是以前面所說的六種廢料等級，目前幾乎每一種都可以處理，其中第 1 級及第 2 級最具回收的價值，以目前技術而言，回收率第 1 級約在九成以上，而第 2 級約在八成三。第 3 級則是因為會有大量的氣體產生，所以在回收前最好要將其塗裝以機械或化學方式去除，或是在熔解時以集氣方式減少空氣污染。但若是以經濟考量，單純回收第 3 級可能不具經濟效益，有部份業者會要求回收廠除了回收第 1 級及第 2 級外，亦會要求必需回收第 3 級，以搭配方式要求回收廠處理。

第 4 級的廢料最主要因為含有大量的其它物質，若是鎳銅矽的含量在規範內，可以考慮回收成回收錠，若不是，則可能在重熔後做成等極較差的鎂合金，供鋼鐵脫硫用或七字頭的鋁合金添加。在回收第 4 級需注意因含有水或是油，所以要重熔前一定要先預熱至 200℃ 左右，不能超過 200℃，最主要是因為鎂合金的閃燃點約在 220℃ 左右，若溫度太高可能導致自燃的危險。

第 5 級可分為沒有被潤滑劑污染的 5A 及有被潤滑劑污染的 5B。5A 在回收上可以分成兩種方法，一種是在日本技術頗為成熟的壓餅法，就是將鎂的機械加工屑壓成一塊一塊的餅狀後，再投入熔爐內熔煉，配合熔解鹽使用增加回收率；另一個方法則是壓重法，即是先以較好的料熔出一些鎂湯，再將加工屑加入，上方

再以一重物壓重，因為上方重物阻隔了空氣，所以使用保護氣體就可以得到相當不錯的保護。

至於 5B 的加工屑，則因含有大量的不純物，必需要先去除，目前去除的方法有洗滌跟加熱法，其中以洗滌法最好，且速度跟效果都不錯，但是成本考量，除非有更大的誘因，否則一般回收廠對這一類的廢料回收都不歡迎。

5B 的加工屑，在經過脫水脫油處理後，就可視為是 5A 的加工屑，回收方式便和 5A 相同。目前業界有針對 5B 使用重熔機，即透過一緩慢的加料系統，不斷添加到鎂湯中，利用坩鍋的熱量讓 5B 在添加過程中脫油及脫水，重熔效果不錯，但缺點是添加速度很緩慢，若是以商業化考量，將切削油除去後再用混料的方法回收，是為目前最可行的方式。

第 6 級的廢料主要是在壓鑄過程中沉墊的沉渣，這一類的渣，含有大量的重金屬成份，如鋁跟錳等，鐵含量也不低。第 6 級這一種型態渣的成因最主要是因為母廠合金化做的不好所致，鎂在 670°C 時可以固溶的錳量與鋁含量有相當大的關係，以 AZ91D，鋁含量約在 9%，可以固溶約 0.2% 左右的錳，若是超過這一個值那壓鑄廠在使用時，錳將會與鋁產生金屬間化合物而沉澱；AM60B 則是可以固溶約 0.3% 左右的錳，若是太高也是會生成金屬間化合物沉墊。

換言之，在生產製造過程中有 50 % 以上的鎂料未被利用，此即成為廢棄物。在這些廢棄物中，以經濟及技術面來看，可分類為可再生（值得再生）與不可再生（不值得再生）料。為了有效率的回收再生，故歐洲 MEL 機構將回收料區分為六大類，如表 5.2 所示。其中 1，2，3 級廢棄物被認為是具有再生價值的回收料，也就是處理他的成本要比這些材料本身的價格要低。反之，4，5，6 級廢棄物因為處理費用可能超過材料本身價值而被歸類為不可再生回收料。而這種回收料往往就是廢棄物的來源。國內鎂合金回收料絕大部分為壓鑄製程的產物，雖然近幾年來鍛造料的使用量有增加，但目前仍僅占一小部份，再詳細分析生產流程，參照 MEL 分類，可將壓鑄製程中所有回收料作一個細部分類於每一段製程中。如表 5.2 所示。

表 5.2 壓鑄製程中所有回收料細部分類

	鎂錠	熔解	壓鑄	整緣	機械加工	研磨	表面處理
1A			厚鑄件、料頭、流道	流道、料頭			
1B			薄鑄件	溢流井、毛邊			
2			無嵌銅鑄件				
3							無嵌銅且有塗裝鑄件
4			不乾淨鑄件				
5A				碎屑	乾切屑		
5B					濕切屑		
6A		無 flux 熔渣				粉屑	
6B		含 flux 熔渣					

在這些廢棄物的分類當中，其中 1A、1B、2 級回收料，在技術上可以直接作廠內回收再生，製成再生錠後再直接使用，不過很可惜，國內廠商很少這麼做，主要原因是在成本上與管理上的考量，故一般都是運回原料供應商處處理。第三級回收料則必須有合於環保要求的設備作處理後才能再生，無法在廠內直接再生。這是因為其表面塗層若由室溫緩慢昇溫將會產生大量的有害氣體（如戴奧辛等），會造成環保與工安衛生的問題，傳統上必需將表面的塗層去除後再回收，但目前也有業者將其直接重熔，利用冶煉技術不讓有害氣體溢出，再藉由精煉的技術將其煉成與原生錠同等級之回收錠。第四級以後的回收料通常是不再生的，因為其處理成本早已超過材料本身的價值了，雖然如此，但仍可製成非壓鑄用途的鎂錠，提供給其它產業業者使用。然而，國內有些廠商仍對 5A 級的回收物加以機械壓縮後重熔再生，因為原料供應商不願回收此回收料，儘管它仍可再利用，但站在環保再生的立場來看，這種投資是值得鼓勵的。至於第六級基本上是無法再生利用的，也就是徹徹底底的廢物，只是 6A 級非為有害物質，處理上很方便，而 6B 級則被歸類為有害物質，所需的貯存及運送處理過程較麻煩，費用也較高。

因此，綜的來說，第 4、5、6 級的回收料對目前的國內廠商而言可以說是

折不扣的廢棄物，甚至對某些廠商而言，連第3級的回收料也是廢棄物。原因是，目前國內鎂合金回收料產量並未達到所謂的經濟規模，沒有廠商願意投入回收相關的周邊技術研發。但相信在不久的將來，這種情況將會有所改善。

5.2.1 鎂廢料有鹽法 (Flux) 回收技術

有鹽法的主要目的在於使用精煉劑 (Flux) 除去雜質與不純物，其因精煉劑使用型態的不同，又分為坩堝爐再生精煉法、鹽床精煉法。

1. 坩堝爐再生精煉法

坩堝爐再生法為最廣範使用的小規模模型的回收方式，對於廠內及廠外回收均適用。其作法是將回收材升溫至半熔融狀態，然後加入防燃型的助熔劑 (Flux)，或通入保護氣體，為避免氯化物的污染，目前通常都是通入保護氣體。再升溫至 $670^{\circ}\text{C} - 710^{\circ}\text{C}$ ，加入精煉劑，以攪拌機加以攪拌、沉降、渣測定等步驟，確定可達品質要求後，再予以出湯製錠，其作業之機構如圖 5.6 及圖 5.7 所示。

目前坩堝爐再生法在日本、美國、英國都有使用，且以日本之使用最為廣範。

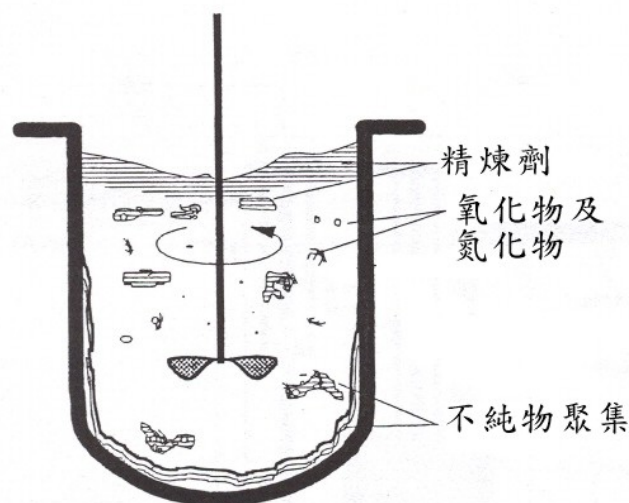


圖 5.6 單爐坩堝爐精煉示意圖

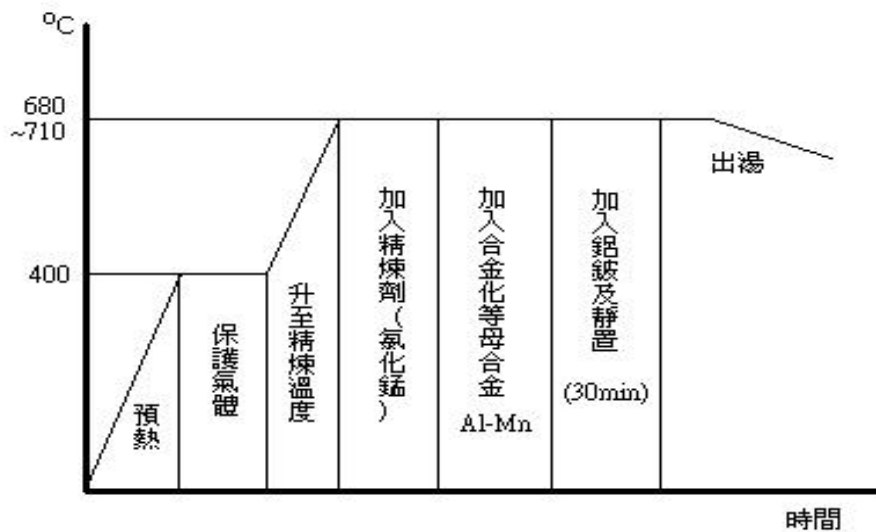


圖 5.7 單爐坩鍋爐精煉流程圖

2. 鹽床精煉法

鹽床精煉法由鎂錠大廠 NORSK HYDRO 所開發，其機構如圖 5.8 所示。鎂廢料熔解後，必須合金調整、經過三個沉降槽讓不純物沉降，以製備高潔淨度之錠材；此方式之優點主要在於可以將較低品質之廢料製備成高品質之錠材、高的回收率，但由於其構造為連續式再生製程，因此目前僅適用於大型的鎂錠廠，或是專業的中心回收廠。

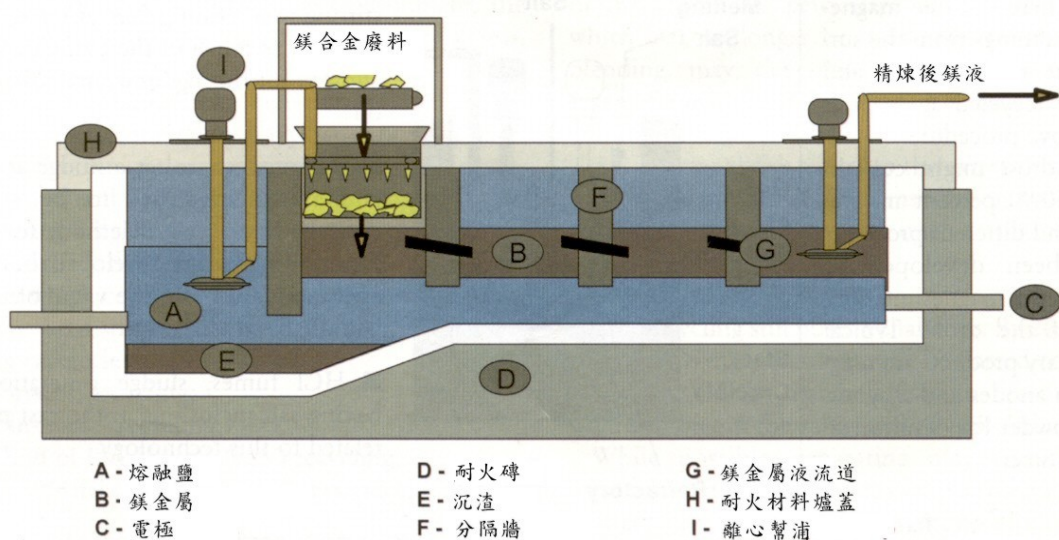


圖 5.8 鹽床精煉法示意圖

使用有鹽法精煉，可以不管是使用批次式的坩鍋爐，或是連續式的鹽床精煉，都可以將非常差等級的料精煉成與原生錠同等級，除非料本身被摻雜了一些無法去除的有害元素—如鎳、銅等，不然，都可以製成一級錠。比較這兩種有鹽法，除了批次式與連續式的不同外，還有個最大不同點，就是使用的精煉劑型態的不同，連續式一般使用液態的精煉劑，而批次式的則使用外購的預熔型或是自製的預混型精煉劑，表 5.3 為這種三型態精煉劑的比較。

表 5.3 不同型態精煉劑添加方式比較

	液態	預熔型	預混型
初置成本	需一加熱爐	無	無
原料成本	低	高	中
添加危險性	無	低	高
精鍊效率	高	中高	低
熔解損失	無	低	中
環境污染	低	中	高
潮解傾向	因需加熱不怕潮解	低	極易潮解
衍生廢棄物	少	中	大量

5.2.2 鎂廢料無鹽法（Fluxless）回收技術

一般精煉製程不使用精煉劑者均稱為無鹽法，有的使用氣泡除渣，有的使用過濾方式除渣，其中包含了氣泡式除渣法、雙槽過濾法、減壓過濾法等。

1. 雙槽過濾法

雙槽過濾法亦由鎂錠大廠 NORSK HYDRO 所開發。其構造如圖 5.9 所示，由一只熔解爐及一只保持爐所構成，保持爐的出湯部份則直接連接上壓鑄機的計量出湯系統，此法非常適合國內的壓鑄業使用，可降低廢料庫存運送上的困擾。雙槽過濾法其缺點為僅適用於清淨度較高的鎂廢料，如 1A 級，對於表面由離型劑污染及潤滑油沾附的廢料，此再生方式並不適合；對於回收後的合金成份控制，及清潔度通常也只能聽天由命，並無法有效掌握。

2. 氣泡除渣法

氣泡式除渣法與鋁合金的轉輪除氣再生方式極為類似，為目前回收效率最低的再生方式，目前並無明確的報導其回收率，但從其再生製程中所產生之浮渣中有 50~90% 的鎂含量得知，其除渣能力之差。其主要原因有兩點，一是鎂的比熱

及熱焓較低，當除渣氣體由湯底吹入時，造成鎂與湯渣同時吹上湯面。另一項為鎂的比重太輕，除渣氣體所帶至湯面的渣並不易與鎂分離，換句話說，經氣體帶至湯面的渣與鎂之比重過於接近，因此在分離技術上尚仍是一個重要的問題，其裝置構造如圖 5.10 所示，其所產生高鎂含量的渣目前建議提供於煉鋼廠進行脫硫之用。

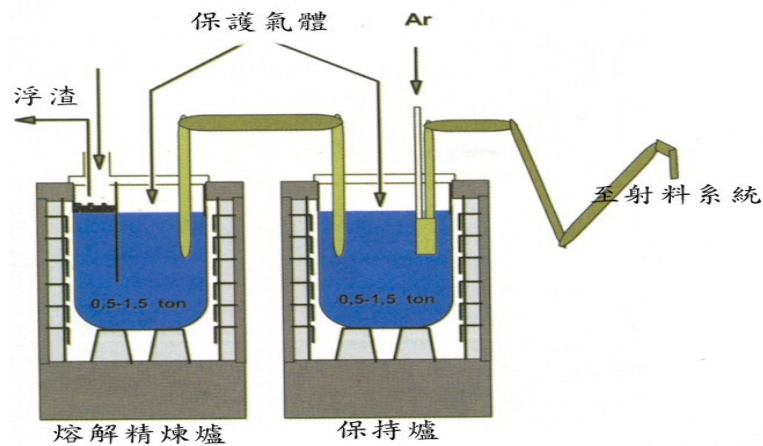


圖 5.9 雙槽過濾法示意圖

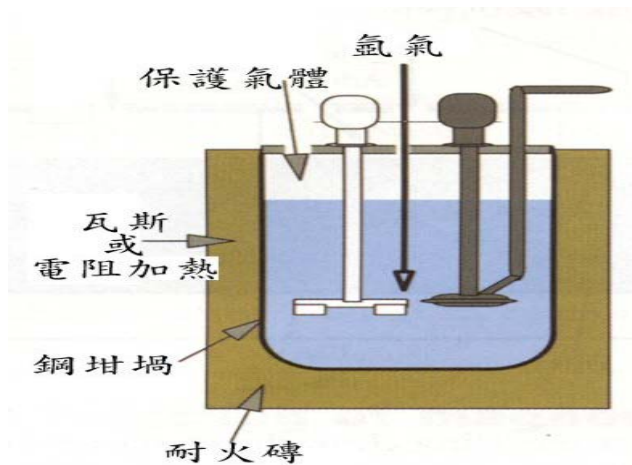


圖 5.10 氣泡除渣法示意圖

3. 減壓過濾法

減壓過濾法及熔湯過濾法均屬無鹽式除渣法，主要都是透過金屬網來進行過濾，圖 5.11 為熔湯過濾法的示意圖，其主要將鎂熔解後，在幫浦下方的吸湯

口裝置濾網，將鎂湯吸出後進行過濾，圖的右側為一個氣泡除渣裝置。

減壓過濾法由日本輕金屬所提出，其構造示意圖如圖 5.12 所示，圖中的上坩為鎂合金熔解爐，下坩則為保溫坩埚，中間以 $200\mu\text{m}$ 之金屬網予以隔絕，當下坩減壓至 0.5 大氣壓，則鎂湯則可經濾網過濾至坩埚，其回收率可高達 90 %。不論是氣泡式除渣或是有鹽法除渣，最後均可以搭配過濾法使用，以求得最佳的鑄錠品質。

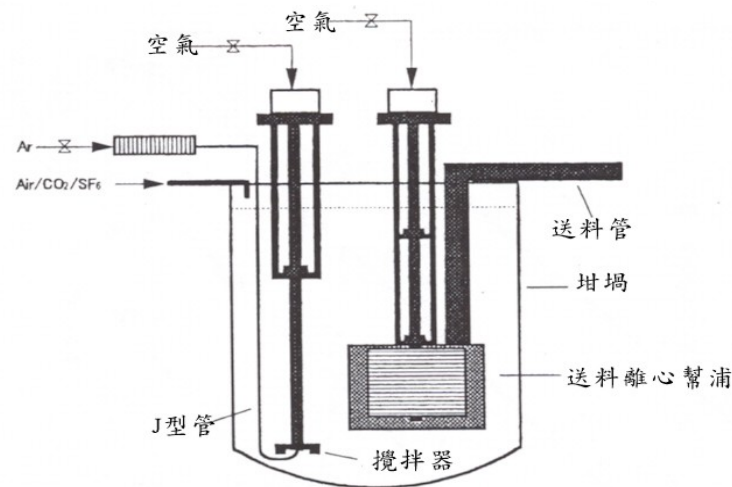


圖 5.11 熔湯過濾法示意圖

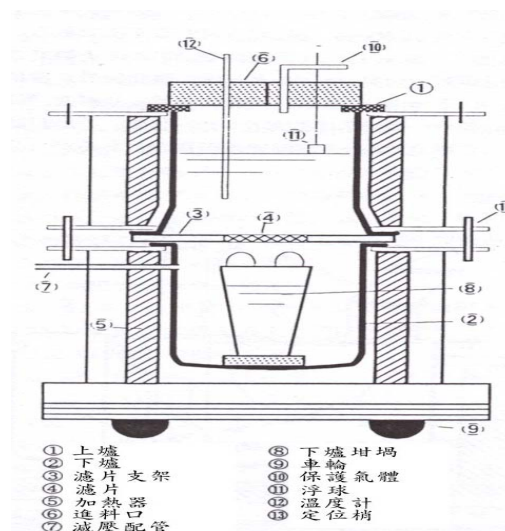


圖 5.12 減壓過濾法示意圖

4. 真空蒸餾法

真空蒸餾法主要用於超高純度鎂錠的製作。主要是因為鎂的化學活性高，不純元素不易去除，利用鎂高蒸氣壓的物理特性，將鎂蒸餾出來，除了鋅以外的所有污染元素均可透過蒸餾法來加以去除。圖 5.13 為真空蒸餾的示意圖，將純鎂升溫至 650°C ，減壓至 2.5Torr 下進行昇華，藉此可以得到較高純度的鎂錠，但效率非常差，實用性不高，但如應用在純鎂純度的檢測上，則有其存在的價值。

不論是使用有鹽回收法或是無鹽回收法，對於客戶端而言，最重要的是品質符合規範且能夠使用，實用的基本檢測會在本書的第七章作一介紹，表 5.4 為各種檢測方法的比較表。

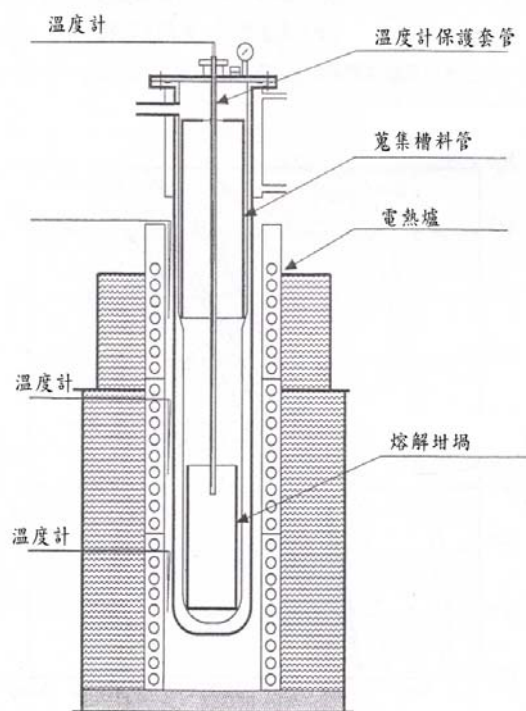


圖 5.13 真空蒸餾法示意圖

表 5.4 不同檢測鎂錠或鎂湯方式比較表

方法	時間	可得之資訊	量測範圍	樣品尺寸	價格	業界使用
Norsk Hydro's 夾雜物探測法 OM/OM-IAS/SEM-EDS	時/天	性質； 每種夾雜物含量； 每種夾雜物之 NSD	1~2 μ m ~4ppm	0.4~1.9kg	低廉~中等	有
DIPSI mould-Centrifuging OM/OM-IAS/SEM-EDS	時/天	性質； 每種夾雜物含量； 每種夾雜物之 NSD	1~2 μ m 10~100 ppm	~50g	低廉~中等	無
K-Mould	分	所有夾雜物含量	0.1~1%	破裂	低廉	有
Dow-Method	秒/分	微粒總含量	0.2%	破裂	低廉	有
Electrical Resistivity	分/時	非導電微粒總含量	0.1%	1~10g	低廉	無
LECO	分/時	所有的氧化物	0.1~1ppm	~1g	昂貴	無
GD-MS/AES	分/時	所有的氧化物	0.1~1ppm	~1g	昂貴	無
Neutron Activation	分/時	所有的氧化物	1~10ppm	5~30g	昂貴	無
Matrix Dissolution OM/SEM-EDS	天/週	性質；每種夾雜物 含量；每種夾雜物之 NSD	1~2 μ m	< 100g	低廉~中等	無
Ultrasound	即時	NSD；所有雜質含 量	~100 μ m		中等~昂貴	無
LiMCA	即時	NSD；非導電微粒 總含量	10~20 μ m		中等~昂貴	無

5.3 鎂屑 (5 級) 資源化技術

若要回收鎂合金的機械加工屑，以日本方面的作法是將機械加工屑壓成壓餅，再將其投入鎂湯中熔化，但是仍不能避免部份的鎂合金的損失。要將鎂合金廢片壓成壓餅，需要很大的壓力。由日本鎂合金協會的數據，要將壓餅的密度提高到大於鎂湯的密度幾乎不可能達到，當成型壓力為 400MPa 時，壓餅密度為 1.63g/cm^3 (300MPa: 1.44g/cm^3 ; 200MPa: 1.26g/cm^3)，而鎂湯的密度為 1.64g/cm^3 ，壓餅密度還是略低於鎂湯密度。

因此，即使用 400MPa 的壓力所得到的壓餅，部份還是會浮在鎂湯表面。其數據亦顯示，要避免壓餅的崩壞性，壓力也必需高於 200MPa 以上。

所以把這一些表面積較大的機械加工碎屑以 200MPa 以上的壓力壓成壓餅，但是不管其壓力如何增加，也不可能將機械加工碎屑的密度壓至高於鎂湯的密度，因此，在傳統上使用壓餅法來回收這類型態的廢料效果並不是很理想。

在較新的技術中，針對較難回收的機械加工屑的回收技術做一改進開發，目的是簡化回收的過程，並增加回收的效果，在實際經驗上，機械加工屑即使回收，因其品質不穩定，很多都不能做為壓鑄材來使用（除非是使用乾式切削），但是可以做為鋁合金的添加物或鋼鐵脫硫用等，仍存在有一定的經濟價值，至於回收過程中所產生的沉渣或浮渣等廢料，可藉由水解試驗將其水解成無污染的廢土，且因其中含有鎂離子，可以治療土壤因為施肥過當所引起鉀肥過多的營養失衡現象。

5.3.1 乾式鎂屑回收再利用

1. 使用回收重熔機

重熔機如圖 5.14 所示，其是由一馬達帶動一輸送裝置，此輸送裝置的功能在於將加入的機械加工屑不斷的往前推進，5A 加工屑的型態如圖 5.15 所示，並在輸送的過程中，有增加碎屑密度的作用，當輸送至一定程度後，碎屑會開始被預熱，此預熱的方式可由外加的預熱裝置預熱，或是直接由鎂湯來預熱。當碎屑被預熱後，會由固態逐漸熔化成融熔狀，至重熔機的底部時，即變成液態並與原先的鎂湯混合，重熔至此便告一段落。

在輸送裝置中，其輸送過程是緩慢且持續加熱，所以在此過程若是碎屑有任何的污染物，如潤滑劑或是塗漆，便會先氣化並由原先的輸送口排出。在輸送過程並同時通入 Ar 氣等保護性氣體保護，以避免污染物氣化而引起任何的碎屑燃燒。重熔機是採用以鎂湯預熱碎屑的方式，以節省成本並簡化機構的設計。

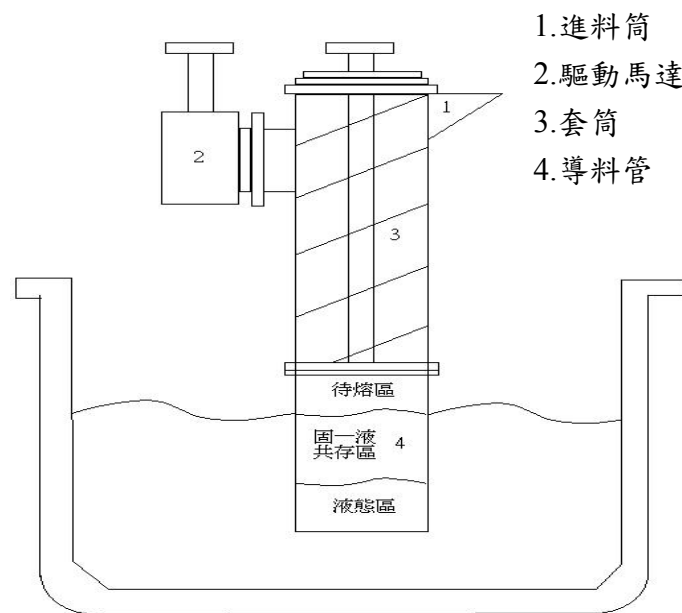


圖 5.14 輕合金機械加工屑回收重熔機之示意圖

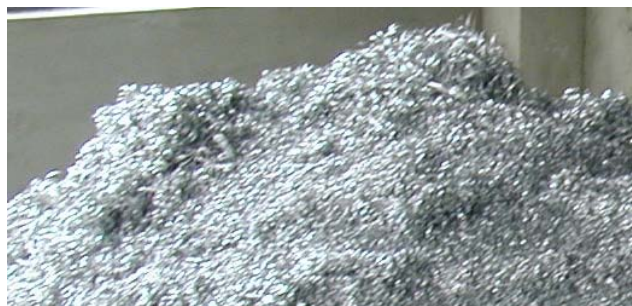
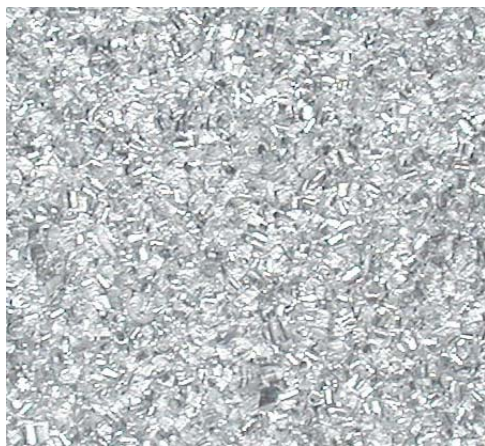


圖 5.15 鎂合金加工屑(5A)

2. 混料回收

將 5A 的廢料壓在坩鍋的下層，在上層放置較重的廢料（1A 或 1B），每一個爐次使用約 20% 的 5A 廢棄物，混合後可以製成與原生錠同等級的回收錠。

使用混合料的方法最主要原因在於，切屑通常都含有一定量的矽，都是單獨回收往往會造成矽含量偏高，在 ASTM B93-98 規定矽必需少於 500ppm，若直接整爐使用 5A 的廢料常常會高於這一個數值。在 ASTM B93-00 規範改為矽必需少於 800ppm，雖然規範放寬，但是大部份的壓鑄使用者仍然要求必需少於 500ppm，這是因為矽含量太高常常會造成耐蝕性的問題。

至於矽含量會變高的原因在於，加工屑常常是散落在地上，業者常會使用掃把之類的工具將其掃至太空包中，因此，往往會混入很多的二氧化矽，二氧化矽在鎂湯裡面並不是一個穩定或是不溶解的物質，與鎂反應會生成氧化鎂或氧化矽，除了造成矽含量偏高外，在熔解的過成中，二氧化矽的存在也會增加熔解的危險性。

一般 1A 的廢棄物若是由不良品打下來的，往往也會有矽含量偏高的現象，這是因為部分業者為了消除表面缺陷，將鑄件拿去噴砂所致。

5.3.2 濕式鎂屑

濕式鎂屑回收，會有相當的安全性問題，容易引起氣爆等，而且鎂屑因為含有切削油，占了總重量約 3 成以上，所以在回收率以及後續衍生的問題上非常麻煩，不具有回收的經濟價值，故大部份可以依 3.2.3 節所指示的各種處理方式將其以一般事業廢棄物處理。

然而，若是就技術上考量，這一類型的廢棄物並非無法回收成回收錠，它的處理原理如圖 5.16 所示，5B 的加工屑外觀如圖 5.17 所示。

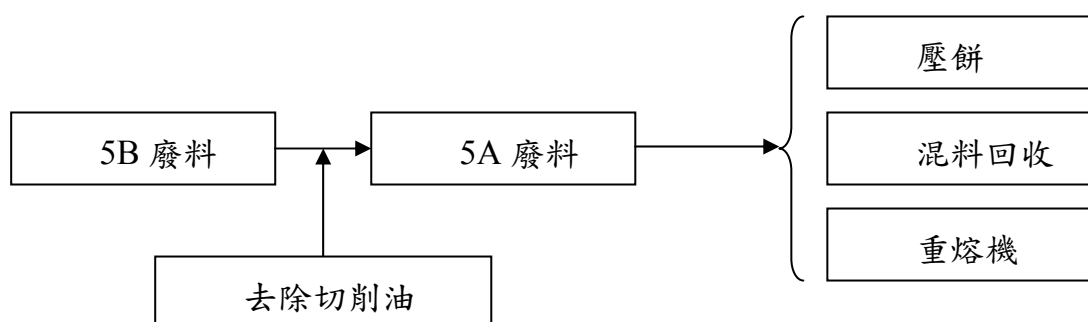


圖 5.16 加工屑(5B)回收流程圖



圖 5.17 加工屑（5B）外觀

去除 5B 廢棄物的切削油有以下幾種方法：

- 1.加熱法：利用切削油的熔點遠低於鎂合金的熔點的原理。
- 2.使用環保洗滌劑（或丙酮）：這個方法的速度很快，約不用一分鐘就可以 5B 廢棄物中的切削油洗淨。丙酮揮發性高，使用環保洗滌劑較為安全，但成本較高。
- 3.真空加熱：這個方法除了利用切削油的熔點遠低於鎂合金的熔點的原理外，更以真空迫使切削油揮發。

表 5.5 為上述三種去油的方法實驗的比較，圖 5.18 則為加熱法之加熱時間與切削油蒸發量的關係圖。

表 5.5 去除 5B 廢棄物的切削油的方法比較

去除的方法	重量減少量(%)
加熱 160℃ 1.5hr	15
加熱 160℃ 2.0hr	20
加熱 160℃ 7.0hr	25
使用環保洗滌劑或丙酮	29
使用真空加熱 200℃ 2hr	33

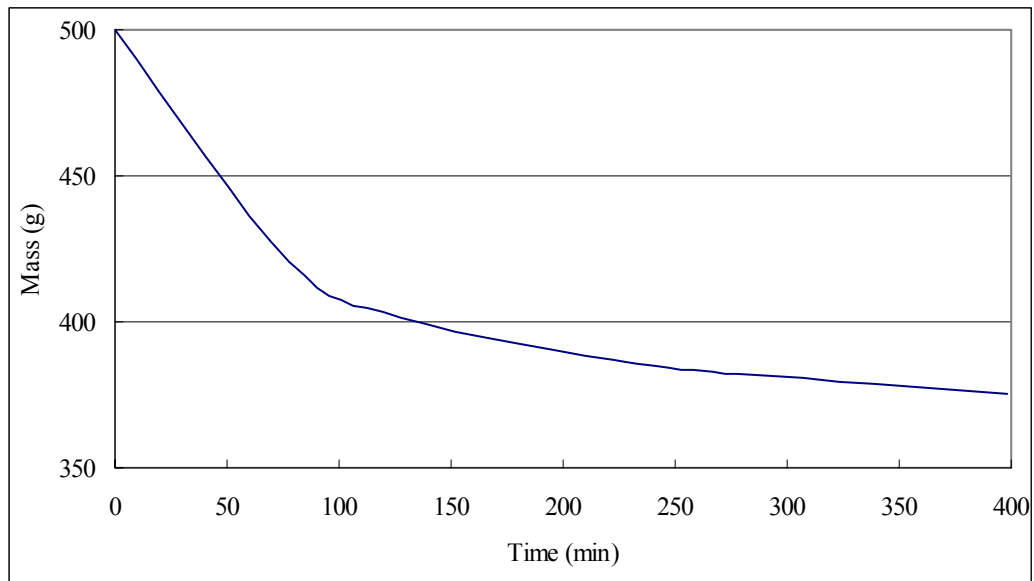


圖 5.18 使用加熱方法去除切削油的重量損失（切削油揮發）與時間關係圖

雖然使用洗滌劑可以最快達到不錯的結果，真空加熱的效果最為顯著，但以經濟及工安來考量，還是以加熱方式是最為經濟且符合量產方式。由圖 5.18 可以得知，加熱超過 100min 後切削油揮發的速度就會減緩。

若使用重熔機，因為其進給的速度很慢，所以 5B 廢料就算不是將切削油去除的很乾淨，也可以在此過程中除去一些切削油。但若切削油直接進入了鎂湯中，會造成鎂湯的品質下降，使用的精煉劑量增加，並且會造成氫含量的增加，這會在製錠過程中產生不良品，故後續的除氫動作（通入氮氣或氫氣）必需作得更為確實。

5.4 鎂渣(6 級)資源化技術

對於第 6 級的鎂合金廢料，依 MEL 的分類將其分為含有助熔劑或是不含助熔劑。一般來說，壓鑄廠產生的第六級廢料，若是妥善處理則為不含助熔劑的 6A 廢棄物，而若是因其燃燒而加入助熔劑滅火則為 6B 的廢棄物。壓鑄廠的廢料一般以底渣為主，故為含有大量鋁錳相的鎂合金。雖然在分類上，6A 為非有害物質，6B 為有害物質，但在實用上，除非要將其依 3.2.3 節的處理方式處理，否則在回收技術上並沒有太大差別。

這一類的鎂廢棄物在回收後已經不能當成與原生錠同等級的回收錠，但是可以煉成鋼鐵或是鋁合金使用的原物料，處理原理如圖 5.19 所示。由於這一類的廢料含有非常大量的氧化物，所以較難使用無鹽法回收，而必需使用有鹽法，因為有鹽法的效果較強，就算是氧化物再多，分布的再細，都可以藉由造渣反應將其煉得很乾淨。

另一個可能的來源是在回收過程中，由造渣反應所形成的氯氧化鎂沉渣，這一類的廢棄物幾乎不含任何金屬鎂，但含有大量的氮化鎂，屬於 6B 廢料，此類廢棄物不具任何的回收價值。但是可以當成其他用途使用，但中國大陸，有人將此類廢棄物水解後，製成氯氧化鎂水泥，成為水泥的原料，在台灣，這類的消息偶爾傳在少數業者，但並沒有進一步的確實證據或是發展。另外，回收製程產生的 6B 廢棄物，有些可以製成觀賞花的肥料，但必需先確認這些廢棄物不含任何重金屬或是有害人體的物質。

此類廢棄物（6B），因為含有氮化鎂或是助熔劑，因此在低溫與水接觸就會產生放熱反應，故在保存上要嚴禁水氣，以免產生自燃的現象。

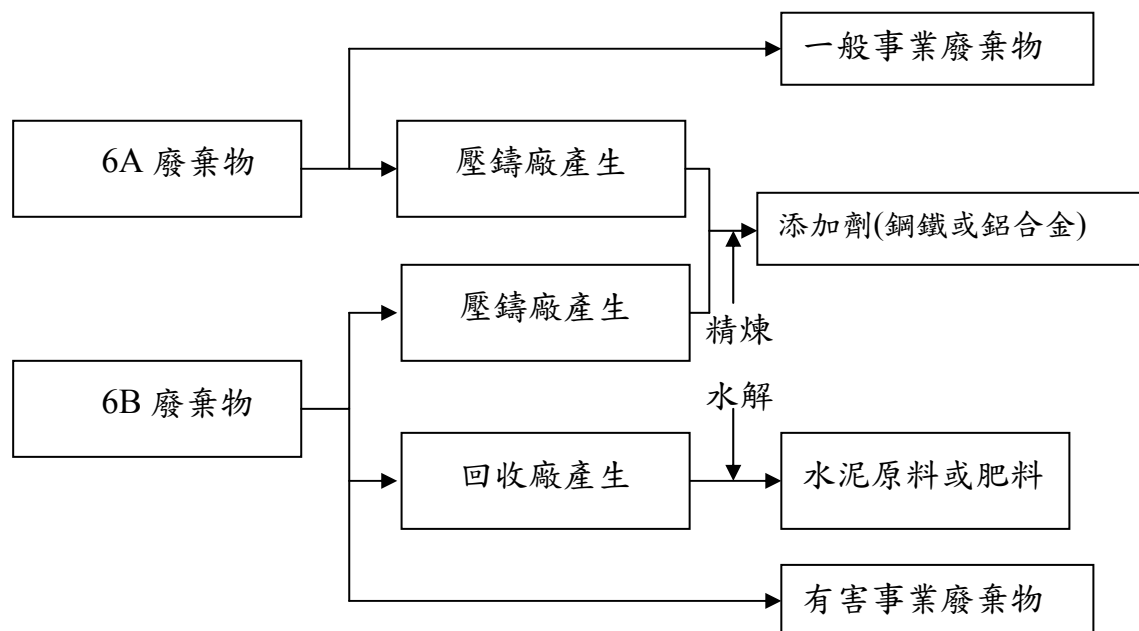


圖 5.19 第 6 級廢料處理示意圖

第六章 技術評估與設備選用程序

本章節針對廢棄物資源化工作時，如何評估與選用設備之程序，舉出相關基本原則及注意事項。

6.1 資源化技術評估流程

工廠在規劃設置回收系統時，一般必須藉由系統化的程序指導，才能建立確實符合工廠需求的設備，進而達到廢棄物減量及原物料回收之預期目標。各廠可依本身製程特性，規劃完整的設備選用系統之作業程序及預定進度。在先期的系統評估方面有以下步驟：

- 1.第一階段：清算製程污染源
- 2.第二階段：資源化系統實驗規劃評估流程
- 3.第三階段：評估資源化設備

針對每一污染源，找出其可應用之資源化方案，並進一步評估各項資源化方案對減少污染產生量之預期效果，且有些資源化方案可能因工廠既有場地面積不足，在此一工作階段即可予以過濾刪除。在執行此階段時，亦可考慮聘用顧問，以協助提供資源化技術建議及評估。此階段可再細分為三項步驟，各步驟如下：

- 1.找出可應用之資源化方案，並選擇較重要者。
- 2.針對較重要之資源化方案，評估預期之資源化成效。
- 3.將評估結果做成記錄，並進行分析。

資源化系統實驗規劃評估係於設備規劃前，透過實驗確認資源化流程的可行性，如圖 6.1，包括以下步驟：

- 1.背景資料：製程概述、廢棄物質量、場地狀況、人員狀況。
- 2.適用性研究：廢棄物品質分析、類似工廠處理經驗蒐集、資源化可行性實驗、綜合評估、流程建議、模擬實際計劃。
- 3.模擬實驗（模擬廠試驗）：資源化效率驗證、操作穩定性、未來擴展彈性、工程設計資料求取（蒐集）、經濟效益評估。
- 4.起動試車：硬體單元測試、資源化設備性能及穩定性測試、人員訓練、操作維

護說明書

由於完整的資源化技術評估作業程序較為複雜，從評估供應商到完成回收系統之設置，所需之工作相當複雜，工廠可考慮聘請在此領域有專長及經驗之專職顧問，以充當工廠與供應商之間的溝通橋樑。

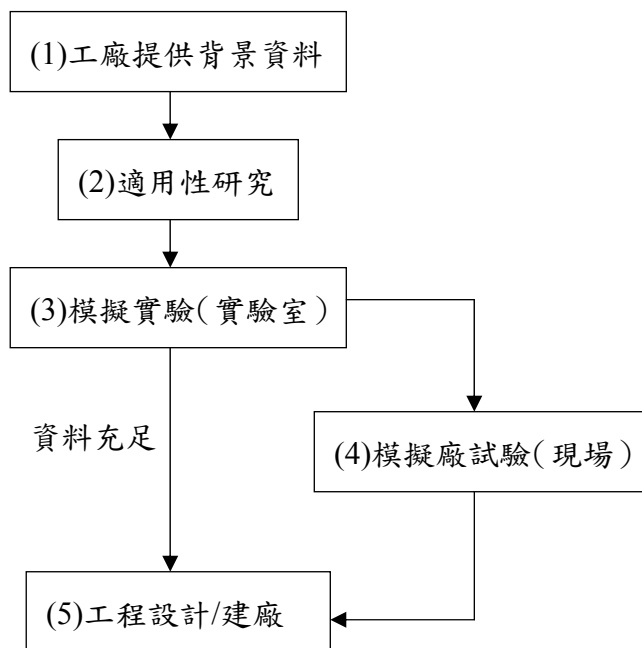


圖 6.1 資源化系統規劃評估實驗流程

6.2 資源化設備選用程序

圖 6.2 說明理想的資源化設備評估，包括工廠、技術顧問單位及工程施工單位四個角色的分工合作以及密切配合。工廠在遭遇廢棄物資源化問題時，首先委託技術顧問單位進行規劃，技術顧問單位在接受委託之後，站在工廠的立場運用其專業知識，謀求解決方案。若是工廠可運用已有的經驗進行規劃，則在背景資料蒐集及擬定基本的處理流程之後進行基本設計及細部設計，在這過程之中，顧問公司應對其設計的理念及所選流程的優缺點充分與委託者（工廠）溝通說明，若處理流程有多重選擇時，仍由委託者做最後的決定。

若是技術單位在初步評估之後，認為現有資料無法進行處理場的流程規劃，則應向工廠提出評估建議書，再由顧問洽詢研究單位進行流程評估研究，以提供技術顧問單位所需的資料，以便完成規劃。工程單位只在細部設計之後，按照其規格要求施工，並依照規格驗收。性能試車則在技術顧問單位的指導下進行，直到正式運轉為止。性能的優劣則由技術顧問單位負責。

上述過程的優點是將規劃設計與工程施工分段進行，規劃設計階段，技術顧問單位較能站在工廠的立場選擇適當的處理方式，若在現有經驗上無法立即進行流程規劃，亦能建議工廠先進行研究計劃，取得資料之後再進行工程化，較能有效的降低建廠後運轉不順利的風險。

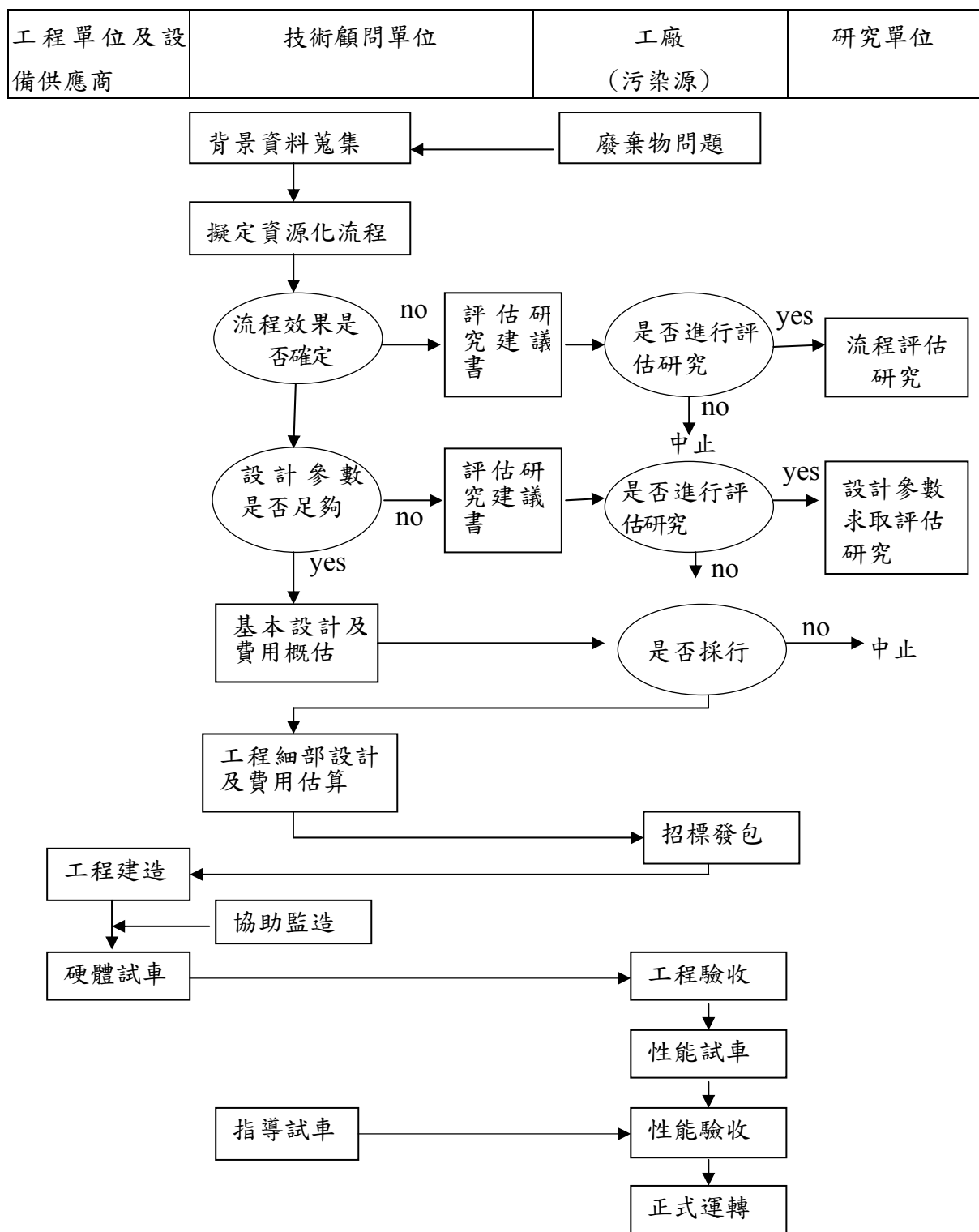


圖 6.2 資源化設備評估流程

6.2.1 聘任顧問

一般來說，顧問之工作項目包含：

- 1.廠內製程單元之污染源清查。
- 2.分析統計各製程單元之廢污物產生量，並研提可行的資源化方案。
- 3.評估及選擇合適的回收系統供應商。
- 4.撰寫回收系統採購說明書，內容包括可行性試驗、設備詳細規格、人員訓練與試車，以及設備處理功能等。
- 5.協助調整或更改現有製程設備，以配合回收系統之設置。
- 6.協助廠方審核各回收系統供應商所提之規劃設計書，並就技術觀點提供工廠具體意見。
- 7.決定回收系統供應商後，繼續協助可行性試驗等相關工作的進行，並監督其執行過程，評估其結果。
- 8.合約書可能需依可行性的試驗結果加以修改，顧問可進一步審核其更改內容，及其處理功能的保證。
- 9.評核得標廠商所提供的系統配置圖、製造流程圖，以瞭解廢液或廢棄物收集系統的設置、二次污染的處理情形、洩漏時之處理措施，以及剩餘廢棄物的處置方式是否均能符合環保規定。
- 10.回收系統正式試車前審核操作維護手冊的完整性。
- 11.將回收系統之安裝、試車及操作訓練等過程全程錄影，以進一步審核系統的功能。
- 12.提供廠方操作人員之定期訓練，並校正回收系統之程式控制器準確性。

6.2.2 設備選用程序

相關購置回收系統之各階段工作內容說明如下：

1.訂定回收系統採購說明書

工廠應依本身的需求訂定回收系統採購說明書，內容載明回收系統所需達到的功能要求，並分寄各回收系統供應商。此階段可分為五項步驟，各步驟工作內容說明如下：

- (1)工廠之技術人負責擬定回收系統採購說明書，並經由工廠決策人員核可。
- (2)將採購說明書寄至各回收系統供應廠商。
- (3)供應商至現場踏勘，並採集樣品進行可行性試驗。
- (4)採訪類似回收系統之供應商或製造商。
- (5)供應商提出回收系統規劃設計書。

2.審核回收系統規劃設計書，並簽訂合約。

審核各供應商所提之回收系統規劃設計書，找出其遺漏的地方，並選出較合適之供應商。在規劃書中應詳列系統之主要設備單價明細，一般濕式回收系統之主要設備可能包括泵、液位控制、警報器、桶槽、管件、pH 校正系統、過濾器、攪拌裝置、定量泵、設備平台、設備標示牌、洗眼器及淋浴器等。

審核供應商之規劃設計書後，最好能再與供應商討論，並進一步提出問題，必要時需經試驗確定，因可行性試驗可對回收系統是否能達到預期之處理功能，提供廠內確實的保證。

3.修改廠內製程設備

完成回收系統採購合約之簽訂後，進行廠內製程必要之修改工作，以因應回收系統的設置。

4.回收系統設置及備用零件貯存

回收系統之備用零件應在系統未設置前就應備妥，且回收系統供應商有必要提供廠方備用零件清單，有時供應商提供之備用零件種類及數量超過實際需要，而造成浪費。因此廠方需先評估備用零件清單的內容。此方面廠方可向已設相同種類回收系統之工廠請教。一般的經驗是 pH 計及一些控制零件應比攪拌設備更須準備備品；緊急採購這些零件所花費的時間亦應考慮在內，對於所採購的備用零件應妥善貯存，並予以編號，以利需要時容易取得。

回收系統也應編號以利辨認，編號的方式可將該系統所在之製程線及製程槽納入，此編號可用在採購說明書、訂單及運送該系統之包裝上，整個採購過程即可以此編號系統進行追蹤，並方便查核作業的進行。所有的採購項目可依編號整理成一張清單，並將設備之相關資料納入清單中，如設備之預期處理功能等數據，其組成之電機機械設備、建造材料設備、尺寸及其相關設計圖編號、預期及實際進貨日期、訂單編號等等，有些重要的閥件，可考慮另列一張清單。

5.系統測試與試車

設備在設置前應先行測試，以確保電氣及機械系統的完善，經測試後再行安裝。試車時應進行回收處理前後之取樣檢測工作，以做為評估系統是否能達到預期處理功能。取樣的位置包括進流口及出流口或設備操作前後，樣品應分為三份，工廠保留二份，系統供應商一份，雙方分別檢測後互相印證之。樣品應依標準程序妥善保存、運送，並分析之。檢測結果再由雙方共同評估，若無法對檢驗結果達成共識，則應將第三份樣品送交第三個檢測機構檢測之。

在執行最後階段的測試時，最好能使用相當量的廢液或廢棄物來測試，回收系統的付費方式，儘可能的話，除了運費與設置費外，工廠應保留 10~15% 的設備費用，以防設備無法達到預期功能。保留的期限以在設備設置並達成預期之處理功能後六個月內為限。

設備之安裝費用一般可保留 10% 做為尾款，直到水力、機械及電氣等操作問題完全解決後，方才給清，有時設備供應商會將此費用提高 2%，以充當利息之損失。

6.2.3 供應商評估

1. 供應商評估及選擇

在選擇回收系統供應商時，一般可依據下列項目來判斷供應商的技術能力及所提供的回收系統之優缺點。

- (1)供應商的員工、工程師、專屬技術專家、實驗人員及銷售人員等人數。
- (2)所欲購置之回收系統，該供應商已在市場上推行多久。
- (3)供應商之年營業額多少，對同類型工廠之營業額如何。
- (4)供應商對於處理購置該項回收系統的工廠，所編制之人力架構如何。
- (4)那些物料、配件由其他廠商供應。
- (6)地區代理商服務及維修能力。
- (7)是否有供應同類型工廠的其他回收系統。
- (8)各附屬零件（如泵之軸封、馬達、攪拌器、樹脂、塔槽、偵測儀等）之代理商。
- (9)系統故障是否能退回。

- (10)系統運送方式及裝設進度表。
- (11)是否需加裝隔離設施，以維護製程較敏感的儀器。
- (12)可提供多少份系統之操作維護手冊。
- (13)對該工業製程單元瞭解程度。
- (14)系統之備用零件取得的難易性，以及是否已將備用零件包括在報價單內。
- (15)買方是否可參與系統設置之規劃設計的審核工作。
- (16)系統搬運及重新設置是否方便。
- (17)現有場地面積是否足夠。
- (18)置放系統之平台的防蝕措施如何。（採不銹鋼或玻璃纖維的平台較普通的鋼板耐蝕）
- (19)那些零件可在當地購買，而不抵觸系統保證書的內容。
- (20)製程產能加倍，該設備應做那些更改。
- (21)系統是否容許 24 小時連續操作。
- (22)系統是否能被一般運送的貨櫃所容納。
- (23)廠區配置圖是否與實際狀況吻合。
- (24)製程上應做那些修改，以配合此項設備的設置。
- (25)該系統需多少操作人力、維護頻率及時間如何。
- (26)是否可先瀏覽該系統之操作維護手冊。
- (27)該系統日常維護項目有那些。

其他次要判斷的項目包含：

- (1)那些零件最容易故障，修復需多少時間。
- (2)系統操作時，會有那些狀況產生。
- (3)是否需額外加裝廢氣處理設施或排氣設施。
- (4)是否提供該系統之操作維護核對表格，以利系統之管理維護。
- (5)系統栓緊零件（栓、螺絲、螺帽）是否使用不銹鋼材。
- (6)控制盤是否有中文標示。

(7)誰來負責安裝試車人員之差旅及膳雜等費用。

(8)供應商提供所需準備之備用零件是如何決定的。

澄清上述的問題後，若能親自訪視幾家新設（三家）或已設（三年）回收系統之工廠，以作為最後選擇回收系統供應商的依據，因經由現場訪視，可進一步瞭解供應商的服務品質及技術能力，以及該系統實際操作情形，並藉由與現場操作人員聊天來查詢回收系統實際操作上的問題所在，再向供應商詢問澄清之。

2.代理商服務及維護能力評定

回收系統之地區代理商的服務及維護能力，也是決定回收系統廠牌的重要因素。因回收系統運達工廠後，接下來的系統安裝、試車及操作人員訓練等工作，可能就交由當地代理商負責（一般視廠方與供應商的合約而定），由於各家代理商之技術能力不盡相同，例如有些代理商僅能提供所需附屬零件的更換，有些代理商則可提供此套系統所有技術維修之服務工作。若代理商對工廠製程有相當的瞭解，對往後的維修工作將更有幫助，所以工廠在合約書內應與原設備供應商，釐定清楚地區代理商的責任範圍。

6.3 資源化成本分析

廢棄物資源化成本之分析不易，原因包括產源不確定及不穩定性，廢棄物質量之變易性、產品市場之隱晦與閉塞、收集轉運之暢通性不足等。同時，資源化產品之市場性分析也不易，包括產品規格及供需配合特性、行銷管道、市場價格、經營方式等層面。因資源化產品市場銷售網不易建立、缺乏國外市場資訊、買賣憑証取得困難、資源化成本過高、再生原料市場價格偏低、國外市場價格競爭等問題之變異性非常大，使得成本分析不易。但投資風險仍然得靠成本分析始得釐清，因此對資源化系統的成本分析仍須進行，主要分析項目主要包括投資成本、回收效益、淨效益及回收期限等。

以下則以系統化流程，說明其成本分析之要項。

6.3.1 回收處理系統要素評估

- 1.廢棄物之來源、數量及成分穩定性
- 2.處理規模
- 3.物料運輸成本：依地域性而異
- 4.投資模式

- (1)委託代清除處理
- (2)成立處理體系
- (3)申請事業廢棄物再利用計畫
- (4)設置廠內回收處理設備

5.資源化產品

6.3.2 處理容量規劃

- 1.基本資料
 - (1)處理量
 - (2)人員編制
 - (3)操作條件
 - A.進料配比
 - B.操作溫度

2.質量平衡

3.系統物料數量計算

4.槽體體積

6.3.3 設備規劃

1.模廠材質、設備選用及安裝配管：材質耐蝕、能承受溫度變化

2.模廠操作試驗及樣品監測分析

(1)試車確保無洩漏

(2)控制因子操作試驗

(3)試驗參數檢討修正

3.模廠功能改善

(1)設備功能改善

(2)操作方式調整

(3)設定最佳操作參數

4.資源化廠先期規劃

(1)尺寸放大考量因子

(2)處理容量規劃

(3)整廠設備規劃

(4)人員編制

5.操作參數

6.系統設計

7.設備材質、施工、基地大小

8.污染防治

(1)尾氣處理

(2)洩漏預防

(3)貯槽防溢

9.設備單元：進料系統、卸料系統、分離系統、熱能供應及整廠儀錶監控系統

10.設備設計考量要點

(1)貯槽、反應槽：操作量、溶液性質及溫度

(2)輸送泵：輸送溶液性質

(3)管件：輸送量、溶液性質及溫度

(4)儀錶：操作方便、耐蝕、價錢

(5)特殊設備：物料處理量

11.設備適用材質

(1)貯槽

(2)固體分離機

(3)輸送泵

(4)管件

6.3.4 資源化系統效益評估

資源化系統效益評估要項主要為設備成本及操作維護成本，包括：

1.工程及設備成本

2.材料成本

3.操作維護成本：人事及管銷費、維護保養費。

第七章 廢棄物資源化案例

7.1 廢潤滑油資源化案例

目前薄膜氫化還原法有三種製程可供選擇，即 KTI 製程、UOP 製程及 Mohawk 製程。KTI 為 Kinetics Technology International 的縮寫，是一家荷蘭化學與環境工程公司，該公司在世界上已建造了四座以上之氫化處理廠，且均已商業化運轉中；UOP 則為一家美國化學環境公司，亦為世界有名的石化廠設計工程公司，該公司發展一套回收處理製程，並操作運轉多年尚無問題。而 Mohawk 製程與 KTI 製程相似，硬體設備幾乎完全相同，亦為 KTI 公司所設計，惟軟體略有不同，目前在美國及印尼各約有三座此種製程之處理廠，技術相當成熟且可靠。

本案例廠位於美國加州舊金山灣採用 Mohawk 製程的 Evergreen 廢油再生工廠。該廠廢潤滑油回收年產量約為 50,000 噸，全廠占地面積約 28,000m²。

7.1.1 來源及其主要成分分析

廢潤滑油的主要來源有四：齒輪箱油（Crankcase Oil）、傳動油（Transmiss Oil）、油壓系統油（Hydraulic Oil）、各種工業用油等。至於廢潤滑油之特性，可從其它成份組成來說明（詳細雜質成分內容如表 7.1 所示）。一般使用後之潤滑油會產生一些雜質，其可能原因來自於添加劑存在、含鉛汽油之鉛含量、引擎磨損產生之鐵屑、大氣中之灰塵、燃燒產生之水份或氧化物、燃料中之沈澱物等。

表 7.1 廢潤滑油雜質成分組成

成份項目	數值	有害物質成份	數值
水份	0~34%	PCBs	0~65ppm
其他油類	0~10%	鹵素	100~15,000pmm
硫	0.2~0.5%	鉛	350~2,060ppm
氮	0.07~0.1%	鋅	90~1,550ppm
灰	0.2~1.5%		

7.1.2 再利用流程

相關回收處理流程如圖 7.1 所示，主要處理單元之處理原則如下所述：

1. Mohawk 前處理單元

此單元主要藉由化學藥劑之添加來穩定廢潤滑油中之添加劑，其目的在於保持進料品質之均一性，以免進料性質因變異而造成後續處理上之困擾（如堵塞、腐蝕、催化劑中毒等）。

2. 薄膜蒸發單元

利用薄膜蒸發器特性，可有效去除雜質及能源節省。如操作正常情況下，此單元可從廢潤滑油中回收 95% 之基礎油。

3. 氫化處理單元

氫化處理效果在於提升再生基礎油的品質，其另一關鍵在於催化劑使用。

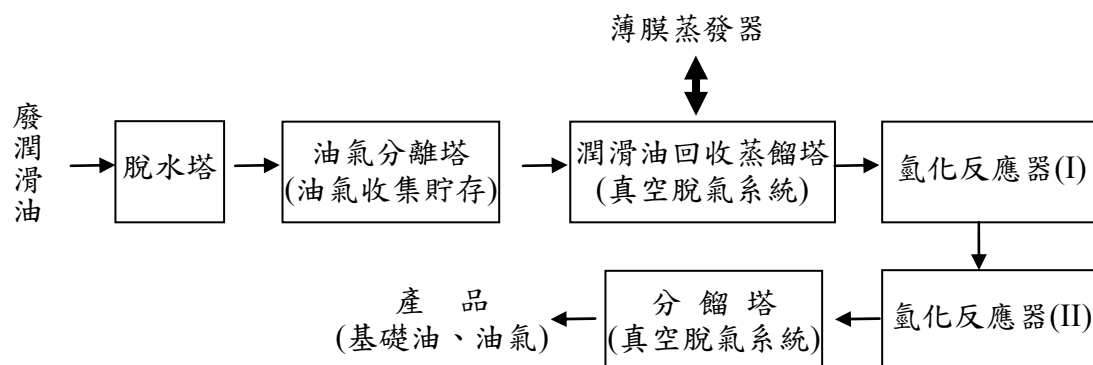


圖 7.1 美國加州舊金山灣 Evergreen 廢潤滑油再生工廠處理流程

7.1.3 能源耗用與產品規格

相關數值如表 7.2 所列，其數值基礎乃以處理量為 20,000 噸乾廢潤滑油（含水率 7.5%），且其進料組成（不含水份）：1.1%輕沸物（Light End）、8.1%輕油、82.1%廢潤滑油、8.7%殘渣等作為基準。

表 7.2 製程能源耗用及再生成品組成

項目	數值
能源耗用	
燃料(kcal/hr)	1.55×10
蒸氣(kg/hr)	850
冷卻水(m ³ /hr)	140
電力(KW/hr)	180
觸媒(kg/Ton)	0.055
再生成品組成	
燃氣(%)	3.2
汽油(%)	7.6
基礎油(%)	80.5
殘渣(%)	8.7

7.2 鎂廢料（1~4 級）資源化案例

坩鍋爐回收可應用在 1~4 級的廢料，不管製成錠後用途為何，基本上的原理大致相同，今簡述如下。

7.2.1 坩鍋爐回收相關硬體設備

1. 精煉爐

本示範生產線是使用單爐坩鍋爐精煉法，亦即熔解、精煉及靜置都在同一個爐子內，使用這種方式的優點是較節省成本及空間，但缺點在於每一批次的處理時間較長，且下湯的品質會較差。如圖 7.2 及圖 7.3 所示。



圖 7.2 鎂合金精煉爐外觀

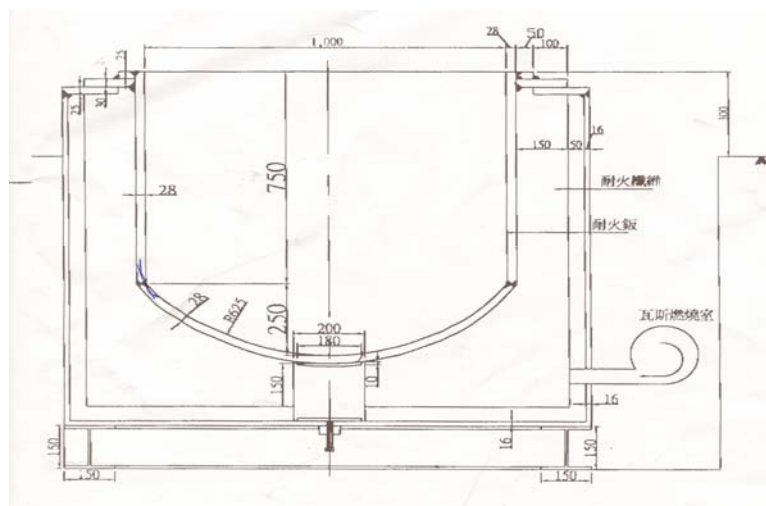


圖 7.3 鎂合金精煉爐尺寸圖 (單位: mm)

2.攪拌機

攪拌機的主要目的是要將精煉劑攪至鎂湯中，並使其均勻分布。



圖 7.4 攪拌機外觀圖

3.製錠機

製錠機必需要有保護系統，以確保在凝固過程中，鎂錠不會燃燒。

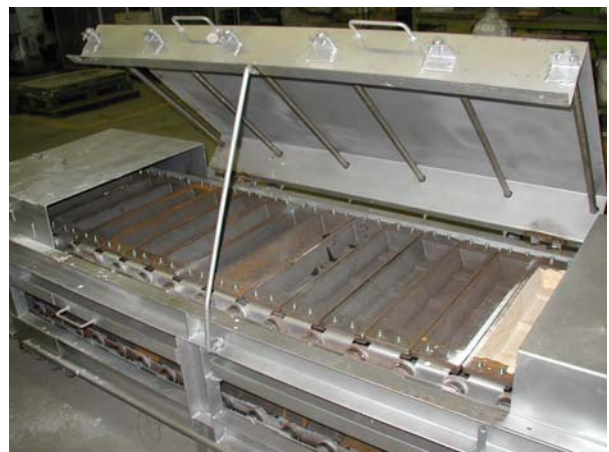


圖 7.5 製錠機外觀圖

4.保護管路系統

使用乾燥空氣，二氧化碳及六氟化硫等保護，其中乾燥空氣為載送氣體。

5.鎂渣處理系統

將鎂的廢渣及不能回收的部份水解，以符合環保相關要求。

6.不純物檢測系統

(1)HMNIAM 系統

主要分為兩個步驟，第一步驟是取樣，第二步驟是做金相觀察，藉此算出其不純物以及雜質的含量— C_p 值。其示意圖如圖 7.6 所示。

取樣主要包含一抽真空設備、低碳鋼筒、濾網杯、濾網以及連接低碳鋼筒與濾網杯的管子。其取樣的時候，是藉由抽真空設備抽真空，使鎂液流經濾網杯、管子、低碳鋼筒，當鎂液流經濾網杯時，不純物及雜質 ($>10\mu\text{m}$) 會被濾網攔截，因此取樣的試片主要在濾網的上方，當鎂液抽至筒中某一高度時，真空設備就停止運作，將真空設備抽離鎂湯，待其凝固後再將試片取出。

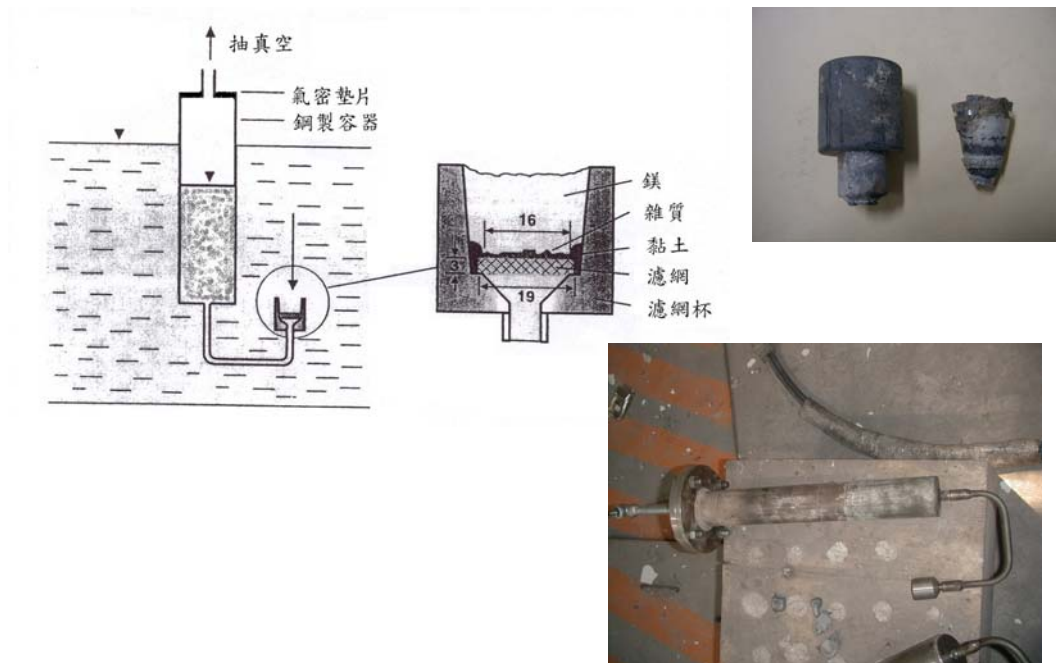


圖 7.6 HMNIAM 示意圖

(2)破斷面法

K-Mould Method 的不純物指標是使用 k 值的判別法，這一個方法是使藉由觀察破斷面的雜質總數，一般是在十個破斷面僅允許一個雜質，而 k 值就是雜質數除以破斷面數，故 k 值小於 0.1 時才是適合鑄造，使用 k 值判斷如表 7.1 所示，K-Mould 外觀如圖 7.7 所示。

表 7.3 不純介在物判定指標

等級	K 值	清淨度	可否使用
A	<0.1	清淨	鑄造性良好
B	0.1~0.5	大致清淨	稍處理後可鑄造
C	0.5~1.0	輕微污染	有再處理的必要
D	1.0~10	中度污染	
E	>10	高度污染	

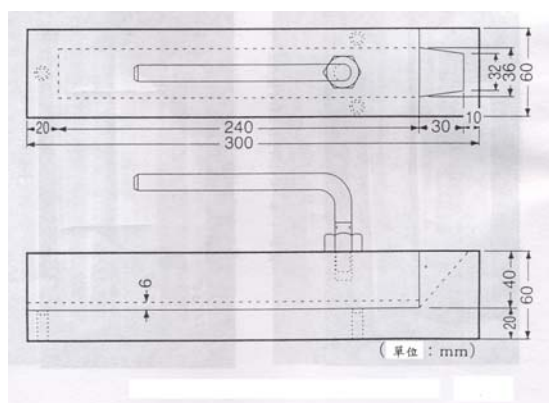


圖 7.7 K-Mould 示意圖

7.2.2 坩鍋爐回收案例

今簡介三個案例，其中 A 及 B 案例為某些業者的作業程序，C 案例則為某業者的檢測回收料的程序。

1. 案例介紹 A：

回收製程，爐體：150 公斤

熔解步驟：

- (1) 熔解作業將欲精鍊料及熔解鹽投入
- (2) 熔解溫度調至 400°C，將欲精鍊料及熔解鹽預熱至 400°C
- (3) 開保護氣體 (Dry Air: CO₂: SF₆=50: 50: 0.2)
- (4) 熔解溫度調至 700°C，將廢料熔解

精鍊步驟：

- (5) 確定湯溫達到 680°C。
- (6) 取一 k-Mould Method 判斷熔湯品質，品質分類如下：
 - A. 僅大雜質，無小雜質。
 - B. 有小雜質，但數量不多，數得出來。
 - C. 小雜質多到難以量化。
 - D. 小雜質遍布整個斷面。
- (7) 加入 Al-60Mn 加入量為熔湯量 0.75%，約 1Kg。
- (8) 攪拌機就定位預備攪拌。
- (9) 攪拌機開始攪拌，轉動速度為 150 rpm。
- (10) 緩慢加入 Flux1 (精煉劑 1 號)，若有氣體產生則加入速度太快→危險，添加比例及重量：
 - A. 0.5% 0.75kg
 - B. 0.75% 1.7kg
 - C. 1.5% 2.25kg
 - D. 2% 3kg

(11)加入 Flux2（精煉劑 2 號），加入量約為 Flux1 的 0.3~0.5 倍，緩慢加入。

(12)加入 Al-5Be，達 Be 0.03wt%。

(13)將攪拌機關畢並移開。

(14)除渣，除湯面外，鍋壁的渣也必須清除。

(15)加入 Al-5Be，達 Be 0.07wt%。

(16)降溫至 635°C（自然、強制冷卻或加入新料冷卻）。

(17)降至 630~635°C 後一小時後再升溫至 650°C 即可出湯。

2. 案例介紹 B：

回收製程：

爐體：1.2 噸

材質：AZ91D

(1)這些步驟需在精煉步驟開始前完成。

A. Al-60Mn，約 Be 0.5wt%，1,000 公斤加 5kg，900 公斤加 4.5Kg

B. 若是重煉則減半，0.25%，即 1,000 公斤加 2.5kg，900 公斤加 2.25Kg

C. 此為 Al-60Mn 的標準

D. Al-4Be 約 Be 0.04wt%，即 1,000 公斤加 400g，900 公斤 360g 此為 Al-Be 5% 的標準

熔解步驟：

(2)開保護氣體（Dry Air 10L 以上，SF₆ 25~30cc），確認 SF₆ 是否足量。

(3)熔解溫度調至 740°C（上中下都一樣）。

(4)不斷添加廢料至預定數量（1,000 公斤上下）。

精鍊步驟：

(5)確定湯溫達到 670°C 以上。

(6)取一 k-Mould Method 判斷熔湯品質（供以後測試用，此步驟可省略）。

(7)攪拌機就定位預備攪拌，並將 SF₆ 關至 0。

(8)溫度維持 700°C，在此步驟同時加入 Al-60Mn，分三次添加。

A.加入 Flux0，一次添加 2.5~3kg，加完後開始計時，停 90 秒以上。

B.攪拌速度調至 50rpm，攪拌 90 秒後停止，再加入 Flux0（精煉劑 0 號）。

C.一直重複上述 A 及 B 之動作至 Flux0 加完，全部 Flux0 約 10 公斤。

(9)溫度調整至 680°C

A.加入 Flux1，一次添加 5.5~6kg，加完後開始計時，停 120 秒以上。

B.攪拌速度調至 50rpm 攪拌 120 秒，然後停止，再加入 Flux1。

C.一直重複上述 A 及 B 之動作，至 Flux1 加完，全部 Flux1 約 15 公斤。

(10)溫度調整至 650°C

除渣步驟：先將攪拌機吊起，然後清理爐壁、底渣及浮渣，觀查底渣若不是黑色則重複步驟 8（無論是污泥，砂狀，塊狀，只要是黑色就可以，但是以塊狀及砂狀佳）開 SF₆（25~30cc），取 K-Mould 試片觀查斷面，若不合格則重覆步驟 8。

(11)攪拌速度調至 35rpm，加入 Flux2，一次約添加 2.5~3kg（兩瓢），緩慢加入，共加 2 次。第一次添加時同時加入 Al-5Be 一顆（約 250~500g），最後一次添加時將剩餘 Al-5Be 全部加入，剩餘 Al-5Be 加入後再攪拌一分鐘後停止。

(12)除渣步驟：清浮渣，然後清爐壁、底渣及浮渣，再取一 K-Mould 試片確認品質，不合格回到 Step 8 靜置步驟，出湯前半小時，預熱鑄錠機。

(13)量測溫度，確定溫度在 610~650°C 之間。

(14)靜置 10min 以上，再升溫至 660°C（0.5 小時），關電源，即可出湯。

(15)出湯時，取上中下湯之 K-Mould，確認品質，並供日後測試用。

(16)出湯後，加入下一爐次的料，並將 SF₆ 調至 10。

3. 案例介紹 C：

介紹不純物之檢測案例，雖然非回收製程，但在回收錠中檢測卻是重要的一環，圖 7.8 為檢測流程圖：

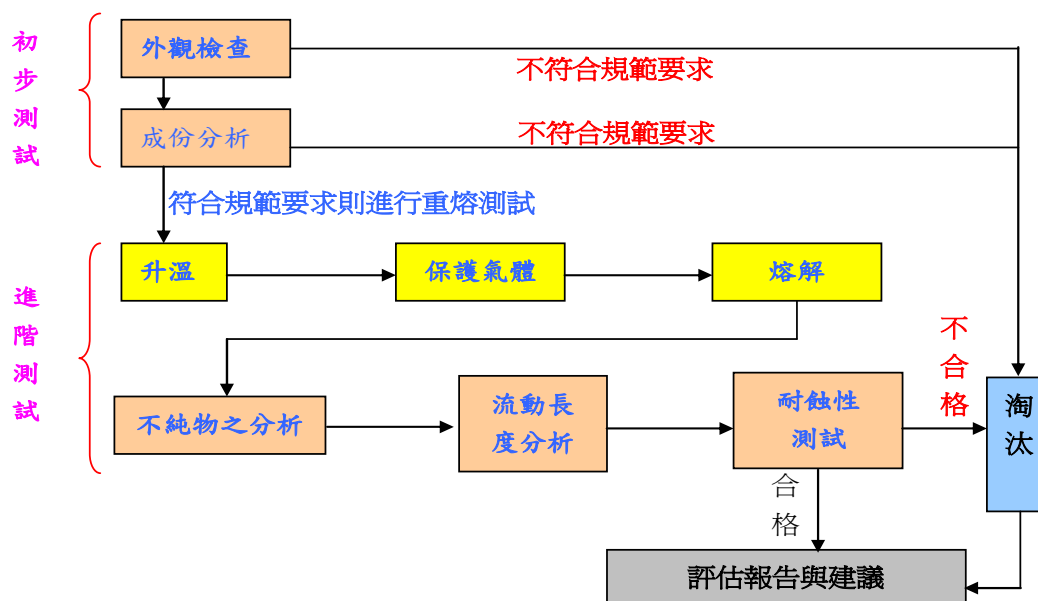


圖 7.8 不純物檢測流程圖

以 X 廠商檢測為例：

(1)外觀檢查



圖 7.9 X 廠商鑄錠外觀

(2)成份分析

表 7.4 X 廠商之回收錠成份分析

元素	Al	Mn	Zn	Si	Cu	Ni	Fe	Be	Mg
X 廠商	8.61~8.93	0.202	0.755	0.024	0.0018	0.0008	0.0020	0.0010	Balance
規範	8.5~9.5	0.17~ 0.4	0.45~ 0.90	0.08 以下	0.025 以下	0.0010 以下	0.0040 以下	0.0005 0.0030	Balance

註：Balance 代表其餘部份為 Mg 元素

(3)不純物分析



圖 7.10 X 廠商回收錠之 K-Mould 破斷面

氧化物之不純物小於 0.1，而試片周邊有氯化物的產生，析出型態接近於 Hydro 挪威廠的型態，惟量較多，推測其原因可能是使用有鹽法所造成或是靜置不夠久所致。另外，因為只有一根鑄錠，亦有可能是取樣偏差所致。其材料在可以使用的等級。

(4)流動性測試



圖 7.11 X 廠商回收錠之 K-Mould 流動長度

(5)耐蝕性測試

使用 K-Mould Method 去樣的試片作鹽水靜置測試，如圖 7.12 所示。耐蝕性約為 $0.23\text{mg}/\text{cm}^2/\text{day}$ (MCD)，優於 ASM 規範之 0.25MCD。



圖 7.12 鹽水靜置圖

7.3 鎂屑（5 級）資源化案例

鎂屑可以分為 5A 及 5B，其中 5A 為不含切屑油的乾式切屑，5B 則為含有切屑油之切屑，其處理流程圖 7.13 所示。

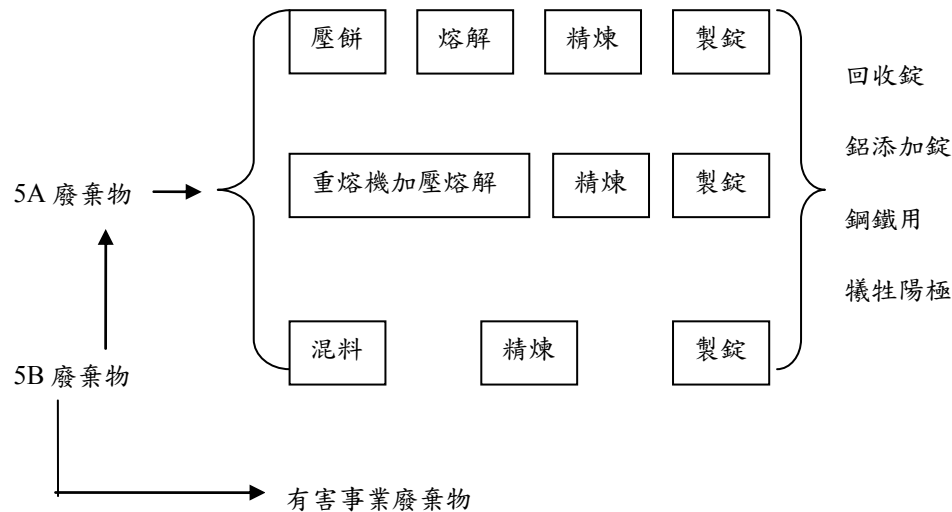


圖 7.13 5A 或 5B 廢棄物回收再利用流程圖

7.3.1 混料重熔法回收案例

1. 1.2 噸爐回收案例

爐子：1.2 噸

材料如下：

- (1) AZ91D 的加工屑。
- (2) 採用乾式切削，故沒有切削液的污染，較容易回收。
- (3) AZ91D/1A/788kg。
- (4) AZ91D/切屑/250kg。
- (5) 德國鹽(5 號)/5kg。
- (6) Flux1/20kg。
- (7) Flux2/5kg（功能在降低氯含量）。

(8)Al-60Mn/5kg。

將少許 1A 熔掉後，加入德國鹽，會在表面產生一層薄膜，再加入切屑，然後在頂部再加入 1A 後壓實即可。

一直將切屑加完為止，之後會發現部份加入的切屑集成類似大塊渣的現像，這部份還是有很多的鎂，此時可以用攪拌機將其攪拌均勻，將這些切屑完全熔入。

然後再以一般精煉製程實施之。

結果得鎂料 913kg，回收率： $913/(788+250)=88.96\%$ 。

2. 3kg 爐子回收案例

材料如下：

(1)AZ61 的加工屑，為圓棒外圍切下來的部份。

(2)採用乾式切削，所以沒有切削液的污染較容易回收。

(3)AZ61/type1A/331g。

(4)AZ61/切屑/3,000g。

(5)德國鹽(5 號)/30g。

(6)Flux1/45g。

(7)Flux2/30g。

(8)Al-60Mn/30g。

將 1A 熔掉後，加入德國鹽，會在表面產生一層薄膜，再加入切屑，加入後壓實即可，一直將切屑加完為止，之後會發現部份加入的切屑集成類似大塊渣的現像，這部份還是有很多的鎂，所以用攪拌方式將其攪拌均勻後，就是將這些切屑完全熔入。

然後再以一般精煉製程實施之。

結果得鎂料 2,706g，回收率 $2,706/3,331=81.24\%$

圖 7.14 為本爐次回收的 5A 廢棄物，圖 7.15 為回收後製成的試棒。



圖 7.14 AZ61 之 5A 廢棄物外觀



圖 7.15 AZ61 之 5A 廢棄物回收後製成試棒外觀

7.4 鎂渣（6 級）資源化案例

由第 5.4 節我們可以得知，第六級的鎂合金廢棄物通常可以利用的價值並不高，若是不將其當成一般或是有害事業廢棄物，可以使用精煉或是水解等方法來製成其它不同用途的原料，可以提供其它業者來使用。若是要將其廢棄，若是由壓鑄機產生的鎂渣可以藉由 3.2.3 節的方法來處理，然而，若是由回收所產生的 6B 廢棄物，就算要將其使用 3.2.3 的方法處理仍有相當的危險，最主要原因在於其含有大量的氯氧化物及氮化物，一碰到水就會產生劇烈反應，生成氨氣。

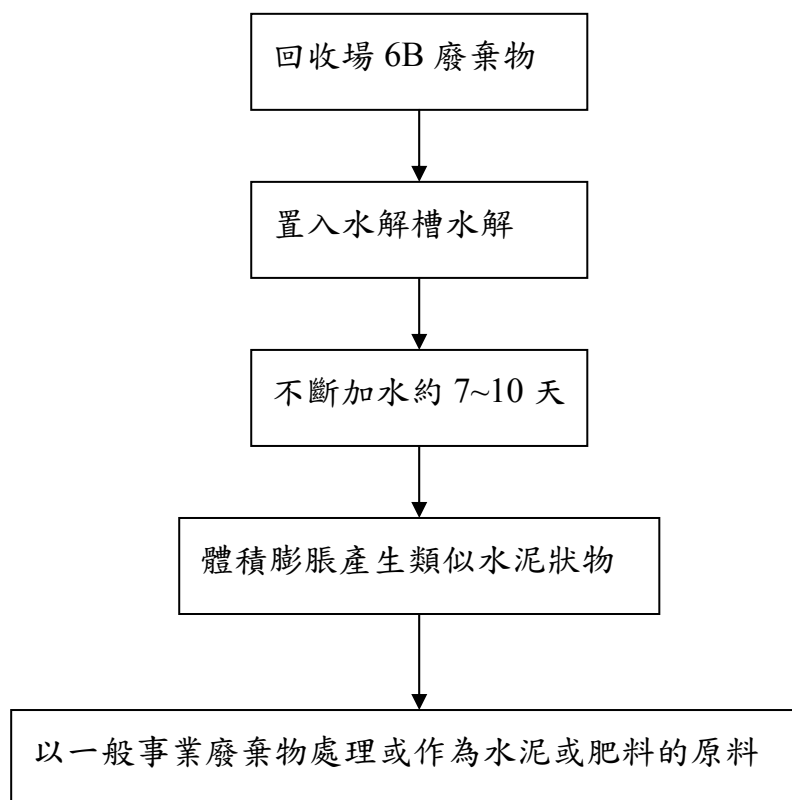


圖 7.16 6B 廢棄物回收流程圖（水泥或是肥料的原料技術仍待開發）



圖 7.17 6B 廢棄物外觀



圖 7.18 6B 廢棄物與其儲渣桶

名詞解釋

1.第一級回收料 (Type 1)

依據鎂合金的廢料分類，第一類廢料在所有的分類大致上是指較容易回收的高級料，泛指在壓鑄過程中，沒有受到熔鹽、油及後續加工污染的廢料。

在本文中，採用的分類方法是根據國際鎂資源回收大廠—MEL 的分類方法，在坊間，有各式各樣的分類方式，主要是根據使用者不同的觀點來作分類，而 MEL 公司的分類則是根據資源回收的觀點來作分類。

2.熔鹽、無熔鹽 (Flux, Fluxless)

在鎂合金的各種製程，或是鎂合金廢棄物的各種處理方法，若是有用到氯化物或是氟化物，則稱為有使用熔鹽的方法，也就是俗稱的有鹽法；若是沒有使用氯化物或是氟化物，則稱為無鹽法。

3.沉渣、浮渣 (Slug, Dross)

鎂合金因為比重較輕，所以渣有分為表面上形成的浮渣與沉在液下的沉渣。浮渣都是因表面氧化形成；沉渣則分為兩種，一種是金屬間化合物，另一種則是使用有鹽法時，因造渣反應形成的氯氧化物。

4.切屑 (Chips)

鎂合金在後續加工中，使用刀具或是沖壓去毛邊所形成的廢棄物，一般分為乾式跟濕式兩種，有使用切削油的為濕式，沒有使用的則為乾式。

5.粉屑 (Powder)

鎂合金在後續加工中，因為研磨所產生的廢棄物，它的表面積遠比切屑多，且在研磨因有使用研磨液，所以有相當的危險性，最好馬上作水解的處理。

6.閃燃點 (Flash Point)

物體在還沒到達燃點前，因為物體本身性質的關係，造成局部的燃燒現象。鎂合金閃燃點約在 200 多度就有機會發生，尤其是大面積的廢棄物，當閃燃發生，會快速加熱周圍鎂廢棄物的溫度，使得其溫度超過燃點，造成連續反應，這也是鎂合金廢棄物危險的原因之一。但只要保持乾燥，對表面積相對較小的鑄錠而言，這種現象幾乎不會發生。

7.壓餅法（Biscuits）

鎂合金的廢料中，比如切屑等，因為表面積大，很難加以熔解，造成回收上的困難。所以可以使用壓餅法，將切屑壓成一塊一塊的立體方塊，再將其加入鎂湯中熔解。

8.破斷面法（Fracture Section）

鎂合金材料的不純物含量判斷的方法，主要有分為用肉眼觀察的 K-Mould Method 以及使用儀器的 Dow-Method。其概念最早都是來自鋁合金，不同的是鋁主要是觀察亮度，鎂合金主要觀察雜質數。

9.混料回收（A Recycled Method With Mixed Different Waste Materials）

有些廢料因為較難熔解，比如切屑，可以將其先壓在熔爐底部，上面在壓較重的廢料，以方便熔解作業。

另一種則是針對含有矽、鎳或銅等廢棄物，因為在鎂合金中很難除去這些雜質，所以使用混料將這些有害成份稀釋到標準規範以內。

10.坩鍋爐（Crucible）

鎂合金回收之熔解、精煉及靜置爐，使用單爐或是雙爐坩鍋爐回收是最為經濟的方法。鎂合金坩鍋材質使用鐵坩鍋，最佳為鉻鉬鋼，依序為 430 不銹鋼及低碳鋼。

11.攪拌機（Stirring Machine）

鎂合金在回收時，使用精煉劑（熔鹽），為了使精煉劑能夠均勻的溶入鎂湯，並促進造渣的反應會使用攪拌機，攪拌機各不同回收廠會有其不同的技巧，大體來說，盡量造成上層鎂湯緩慢持續的溶入精煉劑，下層鎂湯較高的造渣反應為設計的目的。

12.HMNIA 系統

鎂合金大廠 Norsk Hydro 的鎂合金不純物檢測的系統，其檢測具相當可靠度，可應用在連續爐或是製程相當穩定的回收製程中。

13.水解（Hydrolysis）

為了使鎂合金廢料，能夠達到一般拋棄的標準，所使用的一種方法，它是將廢料加入一些酸或是鹽類，加速鎂合金的氧化反應，其廢棄物中的殘留金屬

鎂都反應生成鎂的化合物，變成不會自燃後，再拿去拋棄或是做為水泥、肥料等的原料。

14.減廢（Waste Minimization）

美國環境保護總署（US Environmental Protection Agency）最早用於有害廢棄物（Hazardous Waste），即指任何藉有害廢污之減量、減毒措施，以達到減少有害廢棄物貯存(Storage)、處理（Treatment）或處置（Disposal）設施負荷之目的。廣泛來講，即「廢（Waste）」之排出在生產過程或在進入處理系統之前即予控制，減少其廢污之產量、降低廢污之濃度、改變廢污之污染特性、回收再利用以控制排放等，以減少不必要之廢污產生，甚至可回收再利用，進而減少所需處理之負荷，達到經濟並有效地解決工廠廢污問題之目的。

根據美國國會技術評估局（Congressional Office of Technology Assessment, OTA）認為工業減廢乃從工廠內部改善（In-Plant Changes）做起，在生產過程中減少廢污之產生，但並不包括一旦產生廢污後之減毒、減量在內。

15.清潔生產（Cleaner Production）

1997 年初聯合國環境規劃署（United Nations Environment Programme, UNEP）的定義：清潔生產(Cleaner Production,CP)是指持續地應用整合且預防的環境策略於製程、產品及服務，以增加生態效益和減少對於人類及環境的危害。

- (1)對製程而言：清潔生產包含了節省原料及能源、不用有毒原料、並且減少排放物及廢棄物的量及毒性。
- (2)對產品而言：清潔生產在於減少整個產品生命週期（亦即從原料的萃取到最終的處置）對環境的衝擊。
- (3)對服務而言：清潔生產在於減少因提供服務，而對於環境造成影響，因此在設計及提供服務的生命週期中，都應該將環境的考慮融入其中。

16.環境管理系統標準（ISO 14000）

國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO)為了將國際環境管理制度整合進而標準化，遂於 1996 年訂定 ISO 14000 系列之國際環境管理標準。ISO 14000 是為保護環境而制定，最終目的促使企業界能結合企業管理體系理念以更有效率的保護環境。

17.廠內管理（House Keeping）

在工廠生產過程中藉由一些管理方式的改良，以達成減廢的目的。常見的方法有：（1）調整操作步驟，（2）廢棄物分流收集，（3）物料庫存改善，（4）製造時程改善，（5）損失防止及（6）人員訓練等。

當然要做好前述操作的管理，必須要由主管階層上鼓勵、獎勵，以使員工努力於減廢。

18.永續發展（Sustainable Development）

是 1992 年 6 月聯合國在巴西里約熱內盧召開「地球高峰會議」所揭示的地球環境觀念。亦即人類的各種活動必須考慮環境的負荷能力及資源節約與有效利用，使地球上之生態環境能永續發展。

本項觀念應用於工業生產上稱之為「永續經營」更適切，其是針對國家政策、工廠產品及生產製程等做設計，以免除或減少人類經濟活動對環境的衝擊。簡言之即「為環境而設計」。

19.步留率（Yield）

係指原材料之利用率，鎂合金產品由原料製作至成品，其原材料扣除各項損耗後，成品重量與原使用之原材料重量之比率稱之。

參考文獻

1. John F. King, Environmentally Acceptable Recycling in Europe, 52th Annual Conf. IMA, May21-23, pp.55-60, 1995。
2. 日本鎂合金協會，鎂合金作業安全手冊（日文）。
3. 唐乃光等，鎂合金壓鑄技術手冊，金屬工業研究發展中心，pp.23~38，民國 82 年。
4. 曾坤三，鎂合金廢棄物處理，金屬工業，民國 90 年 3~4 月。
5. 敬得科技，網頁資料 <http://www.gatetech.com.tw>
6. 讚井 宏、片岡 將和，最新の SF6 代替ガスの特性効果，日本酸素株式会社報告。
7. 日本マグネシウム協会，マグネシウムの取扱い安全手引き，pp.24-33，1994。
8. Hydro Magnesium, Safety in Magnesium Die Casting, pp.6。
9. Per Bakke and Dag Ove Karlsen, Norsk Hydro a. s., Inclusion assessment in Magnesium and Magnesium Base Alloy, Copyright 1997 Society of Automatic Engineers, inc.。
10. 財團法人日本鎂合金協會，鎂合金精製清淨度判定方法報告書，平成九年，平成十年二月出版。
11. D. Oymo, O. Holta, O. M. Hostoft. And J Henriksson, Proceedings, ASM Conference, pp.1~5, 1992。
12. S. E. Housh and V. Petrovich, SAE Technical Paper Series No. 920071.。
13. 日本特許專利公報 61-243133。
14. 佐騰英一郎，鎂合金回收材精製，日本素形材，pp.1~10。
15. Nachtman E. S., Metalworking Lubrication Definitions, Waste Minimization and Wastewater Treatment of Metalworking Fluids, pp.5-6, 1990。
16. EPA Draft Guidance for Hazardous Waste Generation on the Elements of a waste Minimization program, US EPA Federal Register, Vol.54, No.111, 1989。

17. Waste Minimization : Manufacturers Strategies for Success. , National Association of Manufacturers , Washington D.C. , 1989. 。
18. Hanlon and Fromm , Waste Minimization Opportunity Assessments , H.M. Freeman , McGraw Hill , 1990. 。
19. Beattie P. J. , Health and Safety of Metalworking Fluids , Waste Minimization and Wastewater Treatment of Metalworking Fluids , pp.26-30 , 1990. 。
- 20.工業污染防治技術服務團，廢棄物資源化利用技術評估整合，經濟部工業局，民國 87 年。
- 21.工業污染防治技術服務團，廢棄物資源回收及處理設備整合推廣－破碎、乾燥及分選，經濟部工業局，民國 87 年。
- 22.工業技術研究院，廢油回收再利用報告，民國 80 年。
- 23.上海石油商品應用研究情報室，金屬加工潤滑劑資料彙編，民國 80 年。
- 24.王永根，乳化油和金屬軋製用油，煙加工出版社，民國 79 年。
- 25.Per Bakke and Dag Ove Karlsen , Norsk Hydro a. s. , Inclusion assessment in Magnesium and Magnesium Base Alloy. , Copyright 1997 Society of Automatic Engineers, inc. 。
26. S. E. Housh and V. Petrovich SAE , Technical Paper Series , No.920071. 。
- 27.許光良，鎂合金回收材檢測技術（1~4），鑄造科技，民國 92 年。

單位換算表

長度

1 千米(km)=0.621 英哩(mile)	1 米(m)=3.281 英呎(ft)=1.094 碼(yd)	1 釐米(cm)=0.394 英吋(in)
1 英哩(mile)=1.609 千米(km)	1 英呎(ft)=0.3048 米(m)	1 英吋(in)=2.54 釐米(cm)
1 海哩(n mile)=1.852 千米(km)	1 碼(yd)=0.9144 米(m)	1 英呎(ft)=12 英吋(in)
1 碼(yd)=3 英呎(ft)	1 英里(mile)=5280 英呎(ft)	1 海哩(n mile)=1.1516 英哩(mile)

質量

1 噸(t) =1000 千克(kg) =2205 磅(lb) =1.102 短噸(sh.ton) =0.934 長噸(long.ton)	1 千克(kg) =2.205 磅(lb)	1 短噸(sh.ton) =0.907 噸(t) =2000 磅(lb)
1 長噸(long.ton)=1.016 噸(t)	1 磅(lb)=0.454 千克(kg)	1 盎司(oz)=28.350 克(g)

密度

1 千克/米 ³ (kg/m ³) =0.001 克/釐米 ³ (g/cm ³) =0.0624 磅/英呎 ³ (lb/ft ³)	1 磅/英呎 ³ (lb/ft ³) =16.02 千克/米 ³ (kg/m ³)	1 磅/英吋 ³ (lb/in ³) =27679.9 千克/米 ³ (kg/m ³)
1 磅/美加侖(lb/gal) =119.826 千克/米 ³ (kg/m ³)	1 磅/英加侖(lb/gal) =99.776 千克/米 ³ (kg/m ³)	1 磅/(石油)桶(lb/bbl) =2.853 千克/米 ³ (kg/m ³)
1 波美密度 =140/15.5°C時的比重-130	API =141.5/15.5°C時的比重-131.5	

壓力

1 兆帕(MPa)=145 磅/英吋 ² (psi) =10.2 千克/釐米 ² (kg/cm ²) =10 巴(bar) =9.8 大氣壓(at m)	1 磅/英吋 ² (psi) =0.006895 兆帕(MPa) =0.0703 千克/釐米 ² (kg/cm ²) =0.0689 巴(bar) =0.068 大氣壓(at m)	1 巴(bar) =0.1 兆帕(MPa) =14.503 磅/英吋 ² (psi) =1.0197 千克/釐米 ² (kg/cm ²) =0.987 大氣壓(at m)
1 大氣壓(at m) =0.101325 兆帕(MPa) =14.696 磅/英吋 ² (psi) =1.0333 千克/釐米 ² (kg/cm ²) =1.0133 巴(bar)		

面積

1 平方公里(km ²) =100 公頃(ha) =247.1 英畝(acre) =0.386 平方英哩(mile ²)	1 平方米(m ²) =10.764 平方英呎(ft ²)	1 公畝(acre) =100 平方米(m ²)
1 公頃(ha) =10000 平方米(m ²) =2.471 英畝(acre)	1 平方英哩(mile ²) =2.590 平方公里(km ²)	1 英畝(acre) =0.4047 公頃(ha) =40.47*10 ⁻³ 平方公里(km ²) =4047 平方米(m ²)
1 平方英呎(ft ²) =0.093 平方米(m ²)	1 平方英吋(in ²) =6.452 平方釐米(cm ²)	1 平方碼(yd ²) =0.8361 平方米(m ²)

體積

1 立方米(m ³) =1000 升(liter) =35.315 立方英尺(ft ³) =6.290 桶(bbl)	1 立方英尺(ft ³) =0.0283 立方米(m ³) =28.317 升(l)	1 千立方英尺(mcf) =28.317 立方米(m ³)
1 百萬立方英尺(MMcf) =2.8317 萬立方米(m ³)	10 億立方英尺(bcf) =2831.7 萬立方米(m ³)	1 萬億立方英尺(tcf) =283.17 億立方米(m ³)
1 立方英寸(in ³) =16.3871 立方釐米(cm ³)	1 英畝·英尺=1234 立方米(m ³)	1 桶(bbl) =0.159 立方米(m ³) =42 美加侖(gal)
1 美加侖(gal)=3.785 升(l)	1 美夸脫(qt)=0.946 升(l)	1 美品脫(pt)=0.473 升(l)
1 美吉耳(gi)=0.118 升(l)	1 英加侖(gal)=4.546 升(l)	

運動粘度

1 英呎 ² /秒(ft ² /s) =9.29030*10 ⁻² 米 ² /秒(m ² /s)	1 斯(St)=10 ⁻⁴ 米 ² /秒(m ² /s)	1 厘斯(cSt) =10 ⁻⁶ 米 ² /秒(m ² /s) =1 毫米 ² /秒(mm ² /s)
---	---	--

動力粘度

1 泊(P)=0.1 帕·秒(Pa·s)	1 厘泊(cP)=10 ⁻³ 帕·秒(Pa·s)	1 千克力秒/米 ² =9.80505 帕·秒(Pa·s)
1 磅力秒/英呎 ² (lbf·s/ft ²) =47.8803 帕·秒(Pa·s)		

力

1 牛頓(N) =0.225 磅力(lbf) =0.102 千克力(kgf)	1 千克力(kgf)=9.81 牛頓(N)	1 磅力(lbf)=4.45 牛頓(N)
1 達因(dyn)=10 ⁻⁵ 牛頓(N)		

溫度

K(開爾文度)=5/9(°F+459.67)	K=°C+273.15	n°F=[(n-32)*5/9]°C
n°C(攝氏度)=(5/9*n+32)°F	1°F(華氏度)=5/9°C(溫度差)	

熱導率

1 千卡(米 ² ·時·°C)[kcal/(m ² ·h·°C)] =1.16279 瓦/(米·開爾文)[W(m·K)]	1 英熱單位/(英呎 ² ·時·°F)[Btu/(ft ² ·h·°F)] =1.7303 瓦/(米·開爾文)[W(m·K)]
---	--

熱功

1 焦耳 =0.10204 千克力·米 =2.778*10 ⁻⁷ 千瓦·小時=3.777*10 ⁻⁷ 公制馬力小時=3.723*10 ⁻⁷ 英制馬 力小時=2.389*10 ⁻⁴ 千卡=9.48*10 ⁻⁴ 英熱單位	1 卡(cal)=4.1868 焦耳(J)	1 英熱單位(Btu)=1055.06 焦耳(J)
1 千克力米(kgf·m)=9.80665 焦耳(J)	1 英呎磅力(ft·lbt)=1.35582 焦耳(J)	1 米制馬力小時(hp·h)=2.64779*10 ⁶ 焦耳(J)
1 英制馬力小時(UKHp·h) =2.68452*10 ⁶ 焦耳(J)	1 千瓦小時(kw·h)=3.6*10 ⁶ 焦耳(J)	1 大卡=4186.75 焦耳(J)

功率

1 千克力·米/秒(kgf·m/s) =9.80665 瓦(W)	1 米制馬力(hp)=735.499 瓦(W)	1 卡/秒(cal/s)=4.1868 瓦(W)
1 英熱單位/時(Btu/h) =0.293071 瓦(W)		

速度

1 英呎/秒(ft/s)=0.3048 米/秒(m/s)	1 英哩/時(mile/h)=0.44704 米/秒(m/s)
------------------------------	---------------------------------

滲透率

1 達西=1000 毫達西	1 平方釐米(cm ²)=9.81*10 ⁷ 達西
---------------	--

索引

MEL 分類	21, 55	環境化設計	2, 32
薄膜白土法	46, 49, 50, 52, 53	混料回收	65, 100
薄膜氫化法	46, 49, 50, 52, 53	擠型	1, 8, 10, 12, 16, 35
半熔融射出法	8, 10, 12	基地金屬	40
丙烷萃取	50	加藥處理	51
破斷面法	88, 100	攪拌機	57, 86, 89, 90, 91, 95, 100
鎂合金錠	9, 10, 24, 31	澆流道	18, 24, 34
鎂合金產業	1, 3, 4, 9, 16, 31, 41	減廢	1, 32, 33, 101, 102
廢料分類	VI, 17, 18, 99	減壓過濾法	59, 60, 61
廢潤滑油分析	50	近淨成型	38
分餾處理	50	精煉爐	85
防燃氣體	36, 37	氣泡除渣法	60
浮渣..	22, 23, 24, 26, 39, 60, 64, 91, 99	汽提回收溶劑	47
調質處理	51	氫化處理	50, 82, 83
鍛造..	8, 9, 10, 12, 15, 16, 30, 31, 35, 55	清潔生產 ...	32, 33, 35, 39, 40, 41, 101
冷室壓鑄法	12	製錠機	86
離心分離	47	真空蒸餾法	62
六方最密堆積	12	蒸餾法	46, 48, 52, 53, 62
高壓鑄造	32	助熔劑回收法	35
坩堝爐再生精煉法	57	鑄造射料與毛邊	37
乾式加工	20	重熔機	55, 64, 65, 68
合模機	37, 38	成型加工	12
化成處理	39, 40	濕式鎂屑	66

濕式加工.....	20	酸—白土法	46, 47, 48, 52, 53
閃燃點.....	54, 99	壓餅法	54, 64, 100
水解.....	26, 30, 64, 69, 87, 97, 99, 100	壓鑄法	8, 9, 12, 13, 14
雙槽過濾法.....	IV, 59, 60	有鹽法	26, 31, 57, 59, 61, 69, 93, 99
熱室法.....	12	鹽床精煉法	57, 58
熱室壓鑄法.....	12	陽極處理	40, 41, 45
燃燒機.....	35	無助熔劑回收法	35
溶劑萃取法.....	46, 47, 48, 52, 53	無鹽法	31, 59, 69, 99
溶劑萃取氫化法.....	46, 50, 52, 53	微弧氧化	41
熔融	9, 10, 12, 13, 15, 22, 36, 42, 57	溫室效應潛值	36, 37, 45
熔鹽.....	18, 99, 100	預熱	34, 54, 64, 89, 91
造渣反應.....	69, 99, 100	永續發展	2, 102

國家圖書館出版品預行編目資料

鎂合金成型產業資源化應用技術手冊/經濟部工業局編,財團法人台灣綠色生產力基金會編著,--初版.—台北市：工業局出版；台北縣新店市：台灣綠色生產力基金會發行，民 95- 125 面：21×29.7 公分
參考書目：103-104 面

含索引

ISBN 986-00-5534-3 (平裝)

1.廢物技術 2.工業廢物處理

445.97

95011409

鎂合金成型產業資源化應用技術手冊

編 著：經濟部工業局；財團法人台灣綠色生產力基金會

發行人：陳昭義

總編輯：連錦漳

編輯企畫：陳炯立、林政江、余騰耀、張啟達、洪文雅、盧俊澄

執行編輯：林冠嘉、林金美

編輯委員：王文裕、林添發、邱垂泓、許光良、葉莉雯、蔡幸甫、關家倫(依姓氏筆畫順序排列)

出版所：經濟部工業局

台北市大安區信義路三段 41 之 3 號

(02)2754-1255

<http://www.moeaidb.gov.tw>

發行所：財團法人台灣綠色生產力基金會

台北縣新店市寶橋路 48 號 5 樓

(02)2910-6067

<http://www.tgpf.org.tw>

出版日期：中華民國九十五年七月初版

設計印刷：信可印刷有限公司

工本費：400 元

GPN：1009501583

ISBN：986-00-5534-3 (平裝)