



「廢舊」金屬資源的再生

台灣金屬資源 再生技術的 現況與展望

■ 黃文星 · 付建勛 · 林偉凱

在金屬的生產過程中，原生礦石經過開採、冶煉、加工，轉化為各種鋼材製品和有色金屬等產品，這就是所謂的「原生金屬」。原生金屬產品進入經濟建設和人們的日常生活後，經過多年的使用，逐漸替換淘汰成為廢品退出市場。而以廢舊金屬為原料，經過再次冶煉、加工形成的金屬製品，就是所謂的「再生金屬」。

隨著經濟發展，台灣的金屬消費量與日俱增，但因受制於金屬礦產資源匱乏，不得不仰賴進口，以取得支持經濟發展所必需的金屬。然而不論就投資、成本、能源及供需觀點來看，各方面都有不確定的因素與一些潛伏性困難，且金屬冶煉過程會產生廢氣、廢水、廢渣污染，也對生態環境造成壓力。為穩定金屬礦產等原生物料來源以確保我國的經濟發展，加強由廢金屬回收再生金屬這一途徑，有其不容忽視的重要性。本文只針對用途最廣的鋼鐵，以及回收價值高與環保要求大的電子產品中的貴金屬來討論。

2004~2008年我國廢鋼供需統計

(單位：萬公噸)

項目 / 年	購入			工廠自發生量	消費		
	內購	進口量	小計		高爐用	電爐用	小計
2004	707	380	1,087	109	162	937	1,099
2005	579	343	922	108	143	868	1,011
2006	671	448	1,119	117	148	958	1,106
2007	689	544	1,233	121	157	1,039	1,196
2008	613	555	1,168	116	147	1,015	1,162

資料來源：台灣區鋼鐵工業同業公會、ITIS產業資料庫 / 金屬中心整理

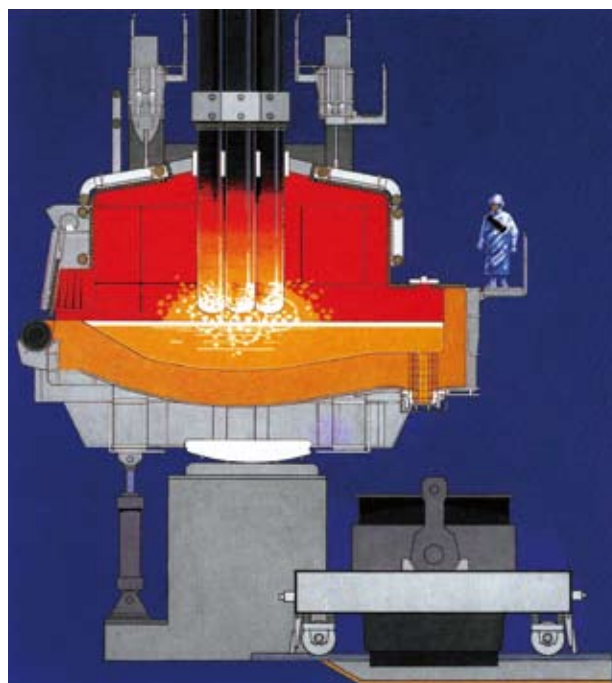
鋼鐵再生產業發展概況

國內對於廢鐵、廢鋼經由電弧爐 (electric arc furnace, EAF) 熔煉再生利用，也就是鐵金屬資源再生利用的系統運作已非常完善。我國廢鋼主要來源是：一般家庭廢鋼，如家電、自行車、廚具等經由拾荒者交由中盤商收購，各中盤商再交區域大盤商，煉鋼廠則只向大盤廢鐵商收購；工廠生產過程中所產生的廢料及不良品等；拆廠、拆屋後的廢棄鋼筋、報廢船舶、機器或汽機車等廢鋼。

廢鋼是粗鋼、再生軋鋼品的主要來源，近年來我國對廢鋼的需求量都在1,000萬公噸以上。由於國內收集的廢鋼內含雜質普遍較多，品質較劣於進口貨，因此國內業者也採用進口廢鋼。國內煉、軋廠陸續擴充產能，使整體廢鋼消費量持續增加，而隨著需求的增加，廢鋼進口量也有增長的趨勢。由於廢鋼與鐵礦石具替代性，在鐵礦砂合約價持續上漲的情況下，帶動了廢鋼需求上漲的預期。

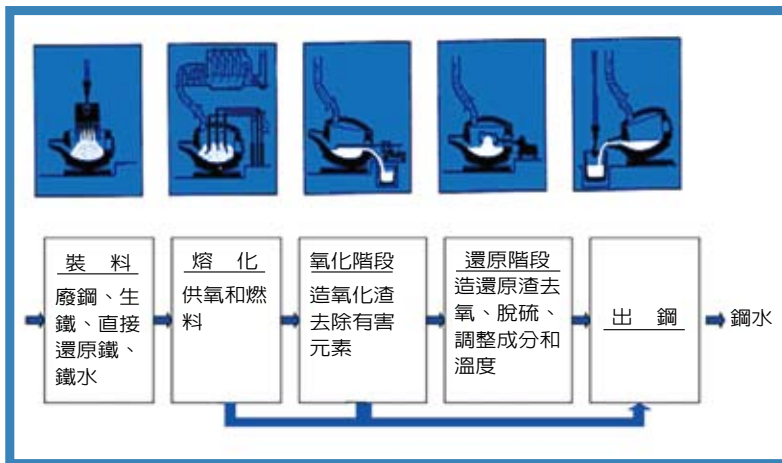
鋼鐵再生技術發展概況

鋼鐵目前是回收率最高的金屬。廢鋼回收起始於民國50年代，當時舊船解體工業發展迅速，部分廢鋼重熔及冶煉工廠自美國直接進口廢鋼，使台灣鋼鐵產量直線上升。



電弧爐結構示意圖

回收廢鋼鐵主要使用電弧爐來進行熔煉。電弧爐煉鋼是以電能做為熱源的煉鋼方法，它依靠電極和爐料間放電產生的電弧，使電能在弧光中轉變為熱能，並借助電弧輻射和電弧的直接作用加熱熔



電弧爐的煉鋼過程

化金屬爐料和爐渣，冶煉出各種成分合格的鋼和合金。現在電爐煉鋼法主要是採用菲爾電弧爐（Heroult furnace），是1900年由菲爾氏所提出，具有圓筒形或角形的爐殼，電極有3個，由爐頂插入。

電弧爐煉鋼與高爐煉鋼相比，具有流程短、設備簡單、占地少、投資省等優點，國內鋼鐵廠電弧爐主要是50T（含）以下的交流電弧爐。

目前，電弧爐大多是用交流電做為熱源的交流電弧爐（AC），雖然成本較低，電弧卻有

不穩定、閃爍及鋼液溫度不均等缺點。直流式（DC）電弧爐除交流電弧爐已有的裝置外，還增設了可控矽整流系統，可用常規的電極控制系統來控制電弧電流和電壓，具節省熔煉電力、節省電極棒的耗用，以及操作穩定與縮短熔煉時間的優點，是未來電弧爐發展的方向。

電弧爐煉鋼廠的主要問題之一是戴奧辛的排放。熔煉的廢鋼（比如廢車殼）由於沒有經過適當的前處理把廢鋼所含的雜質（如塑膠與油漆等）去掉，因此熔煉時可能產生戴奧辛。未來應限制使用含氯化合物物質的廢鋼，並加強廢鋼前處理技術，以降低戴奧辛污染。

貴金屬再生產業發展概況

廢電子電器即一般廢家電，包括電視機、洗衣機、電冰箱、冷暖氣機與電風扇；廢資訊物品則有筆記型電腦、主機板、監視器、印表

交流電弧爐與直流電弧爐優缺點比較

序號	項目	交流電弧爐	直流電弧爐
1	電弧穩定性	差，每秒點燃熄滅100次，在熔化初期，易短路，對電網產生閃爍效應	無自然的點、滅過程，穩定性好
2	電極消耗量	電極表面崩碎損耗大，單位能耗的電極消耗率是6g / (kW·h)	約為1.4g / (kW·h)
3	雜訊污染程度	電極產生100Hz頻率的雜訊，這種低頻雜訊難以隔聲或吸聲消除	雜訊頻率300Hz以上，聲量低，易於採取措施降低
4	電耗 (kW·h / t鋼)	較高	較低（較交流低3~5%）
5	爐壁耐材燒損	靠近爐壁部分燒損嚴重	爐壁距電極遠，燒灼輕
6	電磁攪拌作用	交變磁場，不會產生機械攪拌作用	恒定方向的磁場產生機械攪拌作用，使成分、溫度均勻

我國電子零組件製程所衍生的廢棄物

單位：mg/Kg

檢測項目	IC	BGA基板	電路板	晶圓	樹脂	老化液	濾心	鈀觸媒
金	1.32×10^3	5.62×10^3	2.86×10^3	52.7	34.6	666.6	854	N.D.
錫	1.89×10^4	76.2	53.2	61.2	68.6	N.D.	18	-
鎘	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
鉛	1.37×10^4	611	261	N.D.	5.67	N.D.	N.D.	-
汞	1.13	1.16	0.374	0.072	0.489	N.D.	N.D.	N.D.
銅	9.18×10^4	6.16×10^5	2.12×10^5	93.2	71.1	N.D.	5	486
鉻	71.5	19.5	27.5	N.D.	41.5	N.D.	N.D.	-
鎳	4.90×10^3	5.84×10^3	6.49×10^3	1.84	387	12.7	45	5

資料來源：綠基會通訊—金鈀貴金屬回收再利用

機、手機、鍵盤等。環保署統計，2008年全台廢電子電器（廢家電）回收147萬台，廢資訊物品278萬件，共約8萬餘公噸，其中6萬多公噸是可再利用物質，平均每人每年回收量達3.9公斤，回收率約32%，仍有成長空間。

隨著國內電子業蓬勃發展，相關的電子零組件製程所衍生的廢棄物日益增加。在3C產業廢棄物中混合積體電路、印刷電路板、電阻器、電容器等各類混合五金，這些廢料中除了銅、鉛、鋁、鐵等基本金屬外，值得關注的是很多含有金、銀、鉻、鎳、鈀、鉑等貴金屬；這些廢棄物若無妥善回收處理，不僅對環境造成破壞，從貴金屬使用和價值的角度來說，更是一種浪費。因此，3C產業含金屬廢棄物的回收處理資源化流程，主要著重於有價金屬的回收再利用，其中貴金屬成分主要有金、鈀等高價值貴金屬。

依台灣地區多年的實際操作經驗，印刷電路板製造業、銅製品製造業、金屬電鍍業等行業已針對製程所衍生的廢棄物檢測其成分。

貴金屬再生技術發展概況

目前國內金屬再生業回收處理的貴金屬主要是銀、金、鉑及鈀4種，原料主要來自電子產品廢料。貴金屬可經由拆解後的混合金屬（主要是含銅底材的貴金屬接點）溶蝕再生，處理的流程包含溶蝕、溶蝕液再生、換沉回收、磁化處理等步驟。

溶蝕 溶蝕液含氯化銅，利用溶蝕液可以溶解基本金屬但無法溶解貴金屬的特性，當把銅底材附鈀接點的物料置入溶蝕液中，金屬銅在溶蝕液的作用下會逐漸溶解於溶蝕液中，但貴金屬（例如鈀接點）無法溶解而沉澱於滾筒下，以達到回收鈀接點（或貴金屬）的目的。

溶蝕液再生 經由溶蝕過程所產生的蝕刻液，由於有部分銅離子被還原成亞銅離子，因此溶蝕能力逐漸降低。為了讓溶蝕液恢復原有的溶蝕能力而能持續使用，必須把使用過後溶蝕液中的亞銅離子在酸性條件下氧化成二價銅離子，以提高溶蝕能力。

換沉回收 溶蝕系統中的溶蝕液持續循環使



堆放在港口的進口鐵礦砂

用，在循環過程中，銅離子因金屬銅溶解而導致銅含量累積增加，銅離子也因而形成亞銅離子，而需要以稀鹽酸來調整溶蝕液。以質量平衡的觀點來看，由於在溶蝕液再生過程中加入稀鹽酸調整酸鹼值，因此會增加溶蝕液的量。除定量的溶蝕液在系統中持續循環外，多餘的溶蝕液則排到置換槽，利用活潑元素（如鐵）進行置換反應。

磁化處理 溶蝕液經由置換反應以回收溶蝕液中的銅之後，溶蝕液中的金屬含量以鐵離子為主，以及溶蝕過程所產生的其他金屬（如鋅、錫等）。

資源有限 再生無限

「資源有限，再生無限」，是一句對於任何一種再生資源產業的發展都是極為貼切的口號。近年來各國政府莫不致力於實施節能減碳政策，倡導對環境友善的綠色產業及利用再生資源，使得目前廢棄物的清理已走向「源頭減量」及「物質循環再利用」的方向。也就是以減量（reduction）、資源回收（resource）、再使用（reuse）與再循環（recycle）的管理方式來減少廢棄物產生，以達到資源永續利用的原則。

台灣缺乏天然資源，因此回收廢金屬再利用的再生金屬產業早在民國40年代就已存在，當時的舊船解體工業撐起了我國再生金屬工業的一片天。目前全球各國都把再生產業列為重點產業，充滿無限商機。回收電子廢棄物以提煉貴金屬的產業在全球正方興未艾。

近年來，在政府的輔導下，台灣的資源化產業發展已趨成熟穩固，回收成效也深受國際肯定。然而，目前國內金屬資源再利用技術與歐美日等國家尚有一段差距，再生金屬產品的市場價值仍待商榷。國內業者若能自行研發或引進國外重點技術，並發展具「二次礦源」重要性的再生金屬產品，未來的商機無可限量。

黃文星·付建勛

成功大學材料科學與工程系

林偉凱

財團法人金屬工業研究發展中心產業研究組
