

電弧爐粉塵最新處理技術

林崇田*

一、前　　言

由電弧爐熔煉廢鋼所產生的粉塵在日本主要是以靜電集塵器收集，後將它凝聚成粗丸粒(green pellets)。大部份的丸粒都送到廢棄物處理公司（主要是自己所屬的子公司），以旋轉窯(waelz kiln)或類似的減量技術，將其反應成粗製氧化鋅(crude zinc oxide)的形式再送至煉鋅設備回收其中含鋅的成分。所有的處理成本皆由電弧爐業者自行負擔，其中還包括運費。這種處理方式在日本是強制性的，因為日本的廢棄物處理法案(Waste Treatment and Disposal Act)中規定，處理廢棄物時嚴禁鎘、鋅或鉛等重金屬滲入自然水源中。這類處理方式之成本每噸粉塵超過15,000日圓，但是這種供做燒結後放入鋅熔煉時的代替品（粗製氧化鋅），卻為低價值的殘餘產物。典型的電弧爐粉塵成分請參見表1，典型的粒徑分佈請參見表2所示。

表1 典型電弧爐粉塵成分，% (重量)

Total Fe	30.2	MnO	2.8
FeO	2.8	P ₂ O ₅	0.5
Fe ₂ O ₃	40.0	Na+K	0.4
ZnO	24.2	Cu+Ni	0.9
PbO	4.1	C	1.7
CaO	5.1	S	0.6
SiO ₂	4.8	Cl ⁻	3.3
MgO	1.3	LOI	5.3
Al ₂ O ₃	2.4		

*金屬工業發展中心污染防治專案工程師

表 2 電弧爐及鼓風爐粉塵粒徑典型分佈表

粒徑大小, μm	重 量, %										
	+250	~125	~74	~44	~30	~15	~8	~4	~2	~1	-1
電弧爐	—	—	—	—	2.5	2.7	1.9	4.6	10.5	22.6	45.4
鼓風爐	4	11	14	19				(55)*			

*-44 μm fraction.

二、處理技術簡述

最近發展 Sumitomo 技術的目的是在回收金屬形態中的金屬成分，如鋅與鉛等，並在煉鋼過程中，可節省顯熱，以降低處理的成本。

雖然有許多製程建議將電弧爐所產生的粉塵不經固化，即可將它投入爐內，但是粉末狀的含鐵粉塵流入鋅凝結器時，會因為硬金屬成分的存在而產生嚴重的問題。所以利用預先還原 (prereduction) 及先行熔融等方式將電弧爐粉塵凝聚成較硬的丸粒，對避免微細的鐵粒進入鋅凝結器的問題是有其必要性的。另外，為完成預先還原利用移動床 (moving bed, shaft furnace)，來替代耗用更多能量且不易達到最佳操作條件的流體化床 (fluidized bed)，以節省能源的觀點來看，具備了更多的優點。

如果還原時是為了整爐的最後還原精煉，必需使用較電漿爐或電弧爐更高的操作溫度，但是在這個 1600~1900°C 的高溫範圍，鐵及其成分會蒸發造成鐵粒而移流至鋅凝結器。基於這些考量，可選擇豎爐 (shaft furnace) 與低週波感應爐的組合、因為低週波感應爐具有操作穩定的優點。而鋅凝結器則選擇具有長久操作經驗的 Imperial Smelting 噴灑式凝結器。

在節省能源方面豎爐可儘量減少金屬氧化物是較受大家喜愛的，但鋅的成分在還原反應時仍有部份會蒸發而從丸粒中逸散出來，因此將造成豎爐操作過程粉塵中的鋅隨著廢氣流出而損失。此外，電弧爐中含碳粒的粉塵在 800 °C 以上的高溫範圍可作為還原劑，根據 Sumitomo 的經驗顯示，將鐵礦直接還原時，一個含有碳成分的丸粒亦會順著其直徑周圍的氣體同時發生還原反應。丸粒內部反應的氣體所產生的影響則視氣體表層的散佈阻力及丸粒氣孔而定。另一方面，決定還原反應的驅動力 (即 CO/CO₂ 含量比)，在氧化鋅及氧化鐵中是不同的，所以必須有一最佳的溫度範圍，僅讓氧化鐵還原發生，並且讓氧化鋅還原受到抑制。圖 1 顯示 CO/CO₂ 對鐵、鋅及其氧化物的平衡狀態比例與丸粒的內部及外圍幾何形狀。

根據橫跨丸粒等溫溫度 850°C 及表氣體 (bulk gas) 中的鋅蒸氣分壓為 2% 的假設：CO/CO₂ 的最佳比例是介於 62%~84% 之間。熔爐考慮形成濾渣的溫度點一般是在 1400~1450°C 之間。電弧爐的形狀由於電磁感應力之故，通常設計成便於熔融時之漩渦式流動，而達到最大之還原反應。

丸粒中所含的氯化鈉或氯化鉀之特定鹽類及水份會與固態物 (浮渣及塵粒) 一起收

集於洗滌水中，從洗滌塔中流出來的水是最先從調稠器(thickener)裡的不溶性固體中釋放出來的，視輸入的情形，將部份的循環水排離此系統，可防止形成這類水及鹽，而調稠器中收集的固態物則再循環至造粒機。

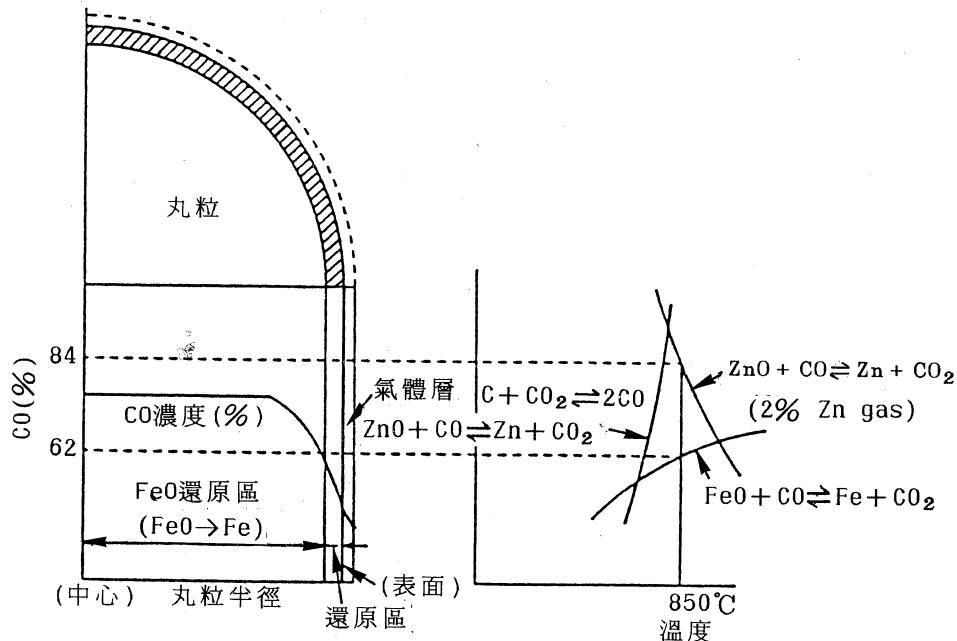


圖 1 丸粒還原模型

三、平檯規模試驗(bench-scale tests)

為模擬丸粒豎爐中的化學反應及決定鐵水的最佳還原條件於何處發生，所以使用了一個小規模的試驗設備以便進行單一丸粒的還原試驗。試驗時所用之丸粒是以一部直徑1500mm的圓盤造粒機所凝聚而成，粗丸粒在乾燥時的最小破裂程度是其重要特性之一，為了防止破裂，粗丸粒的孔隙率(porosity)約製造在0.24~0.34%之範圍。為了試驗比較之用，所製造丸粒的直徑在8~10mm及19~22mm兩個範圍中，在每一個範圍中，內部含碳率為1到1.5%間。而根據氧化鐵及氧化鋅還原之化學計量性(stoichiometry)丸粒亦有製造(用於丸粒在豎爐內的化學反應分析用)。

單一丸粒還原測試之實驗性設備請參見圖2，其中反應管的內徑為41.2mm，溫度則由電熱器控制，反應管內是以一條白金線將丸粒懸吊著，丸粒逐漸減少的重量則利用應變計(strain gage)量秤。 N_2 ，CO及 CO_2 經過混合後送入反應管中，以模擬豎爐中之氣流，混合氣體的溫度約在800~900°C間，流量則維持在15Nl/min。還原程度是由重量的變化及每次測試前後之化學成分來計算，圖3顯示其試驗結果，其中鐵在還原反應中比鋅較佔優勢，而19~20mm的較大丸粒，其還原程度則較高。

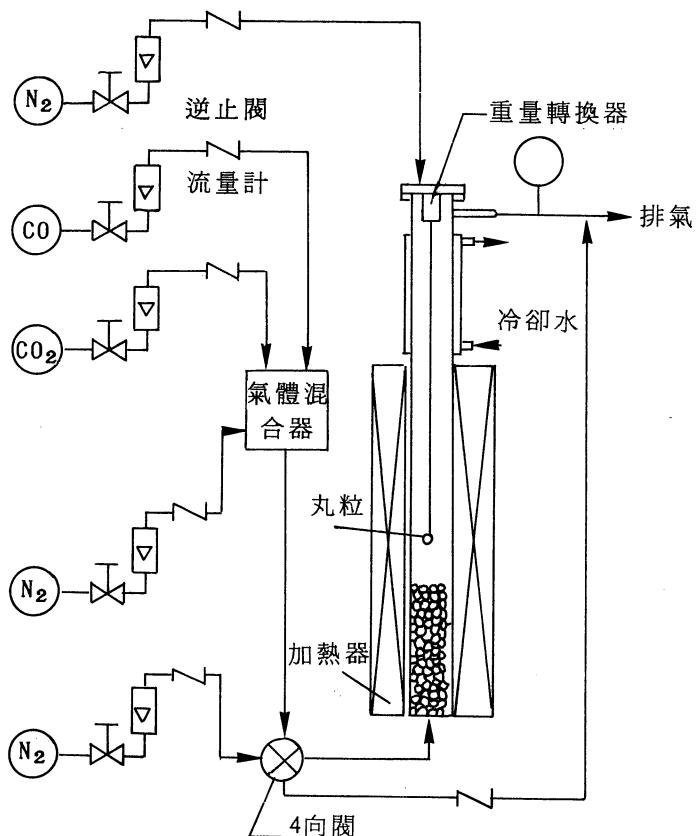


圖 2 單一丸粒還原反應實驗設備

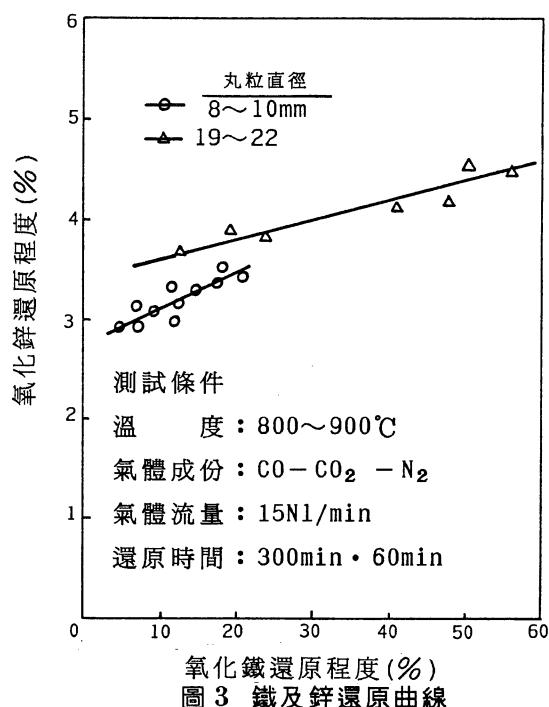


圖 3 鐵及鋅還原曲線

四、模擬廠試驗(pilot-scale test)

根據平檯式的試驗結果Niihama技術研究實驗室建造了一處理能力100kg丸粒／小時的模擬廠（參見圖4），該實驗室亦自行完成此設備之細部設計。模擬廠試驗中所用之丸粒是從平檯式試驗中與焦炭及石灰石混合成粒徑為18～22mm的丸粒。粗丸粒從加料漏斗中連續由豎爐頂端加入，豎爐的內徑為280mm，爐深為2500mm，熔爐的內徑為900mm，爐深則為800mm。熔爐的熔煉是持續式的，熔煉的產物為生鐵(pig iron)及爐渣，亦以連續方式傾倒至一輔助爐，整個爐體外觀請參見圖5。

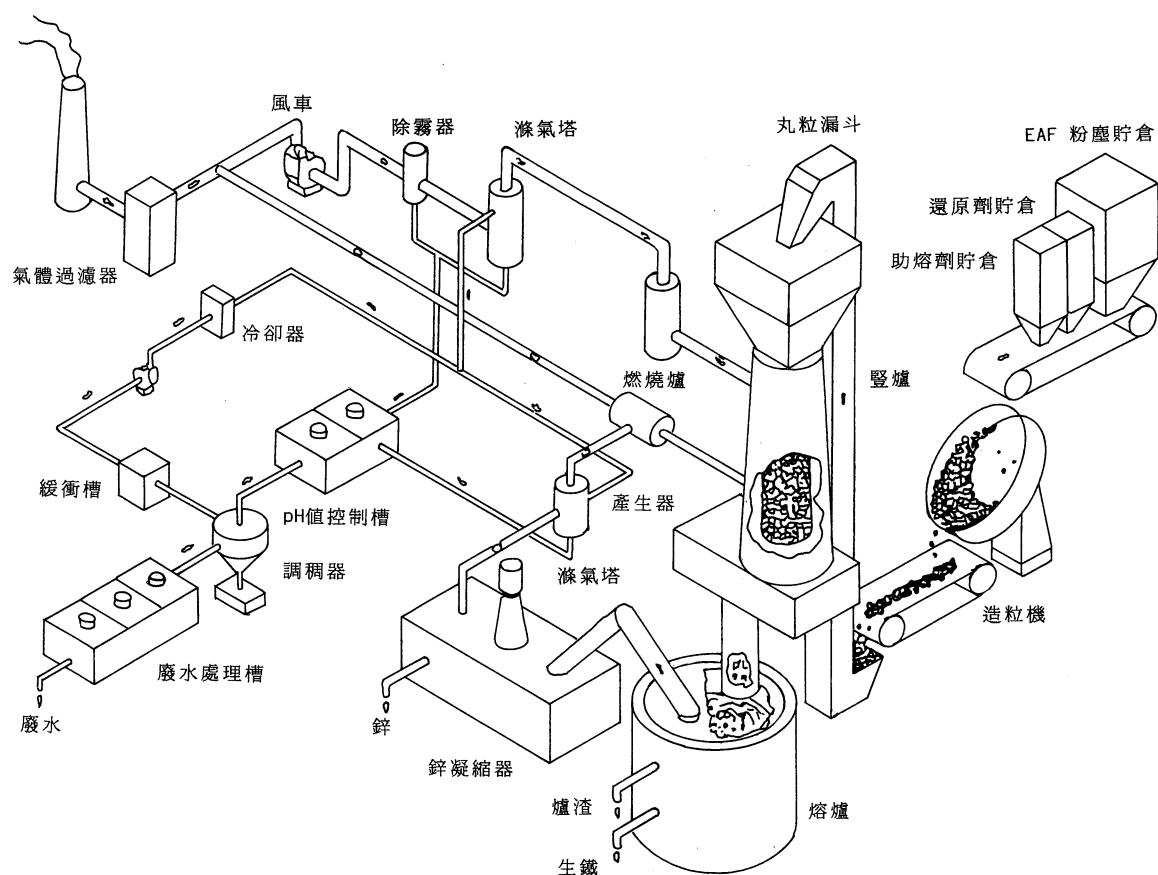


圖4 電弧爐粉塵處理試驗廠

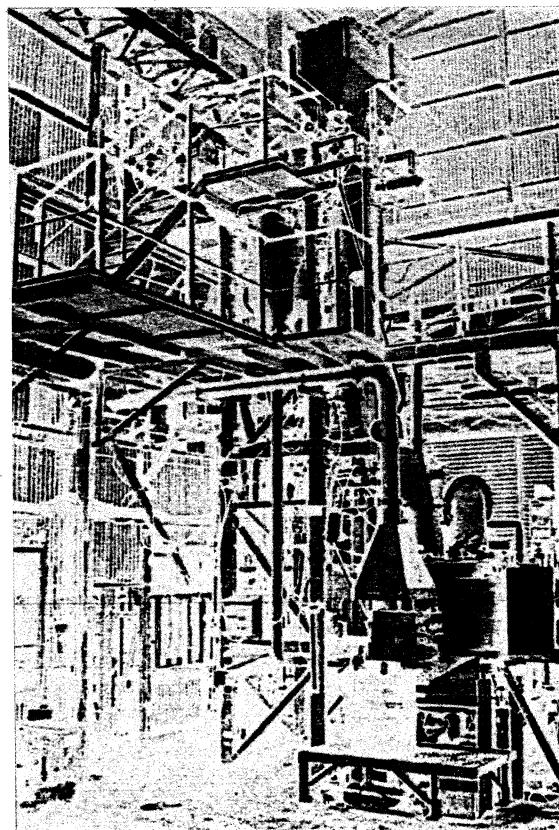


圖 5 各種處理爐組合外觀

從熔爐中蒸發之鋅及其伴生之一氧化碳則導入噴灑式鋅凝結器，凝結成熔融之金屬液，在鋅凝結器之後放置一個氣體洗滌器以便冷卻且除去粉塵。氣體產生器則是以高濃度的一氧化碳燃燒以產生熱氣。

由豎爐排出之氣體在氣體燃燒爐完全燃燒後通入一個包括集塵器、滌氣塔及除霧器的空氣清淨區(gas cleaning section)，煙道內的氣體則是經氣體過濾器過濾後才排入大氣中。

粗丸粒及預先還原後的丸粒之化學成分請參見表 3 所示。豎爐中的還原程度約在 30 ~ 35%，同時亦約有 10% 的鋅流失，鐵、爐渣及鋅產物的化學成分請參見表 4。

表 3 丸粒化學成份

丸 粒	氧化鐵 還原程度%	成 分, %wt			
		Total Fe	C	ZnO	CaO
粗製	-	27.3	8.6	21.9	8.0
預先還原-1	31	33.2	7.0	22.2	9.0
預先還原-2	26	32.0	9.2	21.6	8.8

表4 各項產物典型組成表

生 鐵 (%wt)	
C	Al
2.8	1.1
2.9	0.4
3.5	0.6

鋅(%wt)							
Zn	Pb	Fe	Si	Al	Ca	P	Cl
98.9	1.0	0.07	0.0001	0.001	0.001	0.001	0.001

爐 渣(%wt)					
SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	鹽基度(CAO/SiO ₂)
26.1	32.4	11.9	8.5	5.1	12.4
28.5	30.5	14.1	7.7	4.0	1.07
24.2	30.6	11.3	10.4	7.8	1.26

五、結語

將電弧爐粉塵凝聚成丸粒，再經豎爐及低週波感應爐一連串處理的觀念已經過成功的驗証。鋅凝結器的效率低，可能是因為工廠規模太小的緣故。最初發展階段時曾遇到鈉鹽、鉀鹽逐漸積附在鋅凝結器及連接爐體與凝結器管路上的問題，已藉由浮渣坑(dross sump)位置、耐火磚及管路形狀的修正等方法使附著情形降到最低，更進一步的研究目前仍在進行當中。

本文取材自New Technology for Treating Electric Arc Furnace Dust , Iron and Steel Engineer P.37~40, 1991年2月。