

不銹鋼還原渣含量對紅磚工程性質之影響

沈永年*、林仁益、盧俊文

Engineering Properties of Bricks Made from SSRS

Yeong-Nain Sheen*, Ren-Yih Lin, Jiunn-Wen Lu

摘 要

由於冶煉不銹鋼時，需使用生石灰、焦炭等副料，導致不銹鋼還原渣含大量的 CaO 與 SiO₂ 等成分。本研究係探討不銹鋼還原渣與黏土混合燒製成建築用紅磚之可行性，期能有效降低 CaO 之體積膨脹問題，並提供不銹鋼還原渣之更佳處理方法。研究結果顯示，以黏土添加 12.5% 以下還原渣粉，經 800 °C 溫度燒結後可製成二級磚，其吸水率及抗壓強度分別為 18.9%、250 kg/cm²；以黏土添加 25 至 50% 還原渣粉，經 800 °C 溫度燒結後可製成三級磚，其吸水率及抗壓強度分別為 23%、150 kg/cm²，皆符合 CNS 3319-R143 規範之品質要求。

關鍵詞：還原渣；燒結；磚。

ABSTRACT

Stainless steel reducing slag (SSRS) is the by-product of stainless steel plant. SSRS containing large amount of CaO and SiO₂. The combination of both SSRS and the clay by employing the fired technology can lead to not only solved the storage problem of SSRS but also is converted into building materials. From the study resulted that the amount of SSRS for brick making is 12.5% that met for second-class quality brick, the water absorption and compressive strength, 18.9% and 250 kg/cm², respectively. When SSRS content from 25% to 50% that met for three-class quality brick, the water absorption and compressive strength, 23% and 150 kg/cm², respectively. Both conform to the requirement of CNS 3319-R143.

Keywords: SSRS; Fired; Brick.

1. 前言

以電弧爐煉製不銹鋼時，於還原作用期因投入大量生石灰、焦炭等副材料，導致不銹鋼還原渣(stainless steel reducing slag, SSRS)含有大量的CaO、SiO₂成分。不銹鋼還原渣經適當處理後，可運用於混凝土材料取代水泥、細骨材及粗骨材^[1]，並可做為道路路基及底層級配料^[2]，但因還原渣含有大量CaO，若游離的氧化鈣(f-CaO)與水反應生成氫氧化鈣時，體積可膨脹100~300%^[3]，而靜置約6個月可消除此情況，但存放此還原渣則需大量的儲放空間，時效上較不經濟。若將還原渣與二氧化矽(SiO₂)、玻璃屑(glass-cullet)及砂等富矽(silicate-rich)成分混合，經由高溫燒結，可形成緻密的玻璃相結構，除可確保燒結體的體積穩定性外，更將還原渣之重金屬成分安定於玻璃相內。而黏土為便宜且易獲得之矽鋁酸鹽類材料^[4]，故本研究係探討將不銹鋼還原渣與黏土混合，經燒結製成建築用磚之技術開發，如此不僅可以解決不銹鋼還原渣需要的大量儲放空間與處理問題，亦可將不銹鋼還原渣製成符合規範要求的環保建材。

2. 研究方法

本研究之黏土及還原渣粉分別取自高雄大社鄉製磚廠與台南鹽水鎮之冶煉不銹鋼廠，取回之樣品經過#200篩分及105℃烘乾24小時程序後，置於密閉容器中保存，黏土及還原渣粉之化學成分如表1所示。將還原渣粉依0%、12.5%、25%、37.5%及50%比例與黏土混合(重量比)，以阿太堡限度(Atterberg's limit)試驗求取黏土與還原渣粉之塑性性質與最佳含水量(OMC)後，製磚程序係採用此最佳含水量。再將黏土、還原渣粉與水混合後，經由真空鍊土機，製成20 cm × 12 cm × 6 cm之磚生胚(green)，磚生胚於室溫狀態下陰乾後，送入製磚窯爐以溫度800℃、燒結時間為30分鐘，燒製成磚

(brick)。藉由磚之燒失量、體積收縮率、密度、吸水率、耐酸鹼試驗及抗壓強度等試驗，探討符合CNS品質要求之最佳化配比及燒結溫度，並經由毒物溶出試驗(TCLP)檢驗此燒結成果，是否符合環保署所認可之標準。最後以SEM及EDS探討不同還原渣粉添加量對微觀結構的影響。

3. 結果與分析

3.1 阿太堡限度

表2為含還原渣粉黏土之塑性性質，結果顯示還原渣粉為低塑性材料，當還原渣粉添加量增加時，PI值隨著添加量增加而降低。即添加還原渣粉導致黏土之塑性性質明顯下降，當含還原渣粉黏土之還原渣粉添加量為50%時已屬於低塑性材料，大於50%時則磚生胚無法成型。

3.2 燒結程序之變化量

燒失量與體積收縮率為控制燒結製程的重要指標，隨著燒結溫度的上升，磚生胚內的水分、有機物及部分無機物(碳酸鹽、硫化物)將燃燒揮發^[5]，所

表1. 黏土及還原渣粉之化學成分(wt%)。

Table 1 Chemical composition of clay and SSRS (wt%).

成分	黏土	還原渣粉
Si ₂ O	45.50	17.40
CaO	0.86	50.22
Al ₂ O ₃	22.87	3.33
Fe ₂ O ₃	13.27	10.18
MgO	2.23	12.29
Cr ₂ O ₃	-	1.04
MnO	-	0.50
TiO ₂	-	1.65
Na ₂ O	2.89	-
K ₂ O	9.04	-

表2. 添加還原渣粉黏土之塑性性質。

Table 2 Plastic properties of clay containing SSRS.

還原渣粉添加量(重量比)	0%	12.5%	25%	37.5%	50%
液性限度(LL)(%)	35.94	34.91	34.03	31.85	30.14
塑性限度(PL)(%)	20.57	21.59	22.67	22.61	22.87
塑性指數(PI)	15.37	13.32	11.36	9.24	7.27

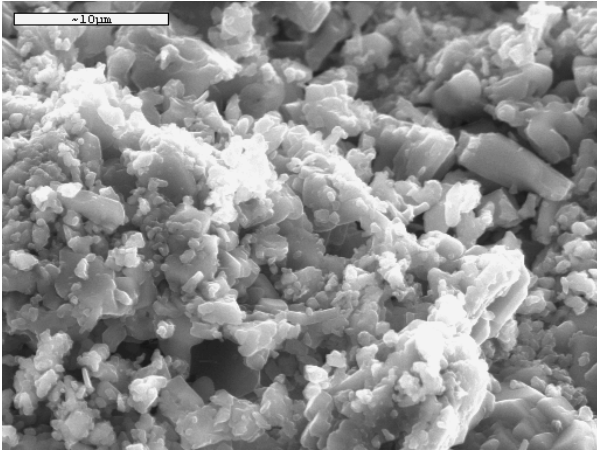


圖 1 含 12.5%還原渣粉磚之 SEM 照片(×3000)。
Figure 1 SEM picture of brick containing 12.5% SSRS (×3000).

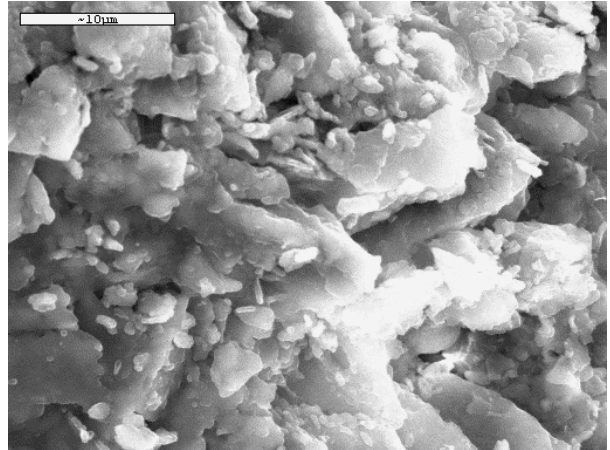


圖 2 含 25%還原渣粉磚之 SEM 照片(×3000)。
Figure 2 SEM picture of brick containing 25% SSRS (×3000).

以燒失量的多寡視燒結體內之含水量、有機物及上述成分含量而定^[6]。研究顯示，增加還原渣粉添加量時，則燒失量亦增加。磚之體積收縮率則隨著還原渣粉添加量增加而減少，如表 3 所示。

3.3 磚之工程性質

表 3 為含還原渣粉磚之工程性質。結果顯示，隨著增加還原渣粉添加量，磚之密度與抗壓強度亦隨著下降；磚密度介於 1.604 g/cm³ 至 1.747 g/cm³ 間，約 7% 之差異，而抗壓強度則介於 150.94 kg/cm² 至 277.39 kg/cm² 間。吸水率則隨著還原渣粉添加量增加而提高，顯示提高添加量，將增加磚體孔隙率，當還原渣粉添加量低於 12.5% 時，其吸水率及抗壓強度分別為 18.9%、250 kg/cm²，符合 CNS 3319 要求^[7]，可製成二級磚；添加 25 至 50% 還原渣粉時，其吸水率及抗壓強度分別為 23%、150 kg/cm²，符合

CNS 3319 要求，可製成三級磚。整體而言，增加還原渣粉添加量將降低磚體之工程性質。

3.4 微觀性質

磚之巨觀機械行為與微觀組織是密切相關的，藉由 SEM 觀察磚體內部，可瞭解微觀結構對機械性質的影響。圖 1 為含 12.5% 還原渣粉磚之 SEM 照片，顯示還原渣粉添加量達 12.5% 時，呈現厚度為 2 μm ~ 6 μm 之細長條狀與不規則狀片狀結構；當還原渣粉添加量為 25% 時，則呈現為完全不規則狀片狀結構，如圖 2 所示。還原渣粉添加量達 37.5% 時，不規則狀片狀結構更為明顯，並且孔隙變大及孔隙增多，如圖 3 所示。由 SEM 微觀結構，顯示隨著還原渣粉添加量增加，磚的孔隙率亦隨之提高，導致磚巨觀工程性質之吸水率增加及抗壓強度降低。

表 3. 含還原渣粉磚之工程性質。

Table 3 Engineering properties of brick containing SSRS.

工程性質	還原渣粉添加量(重量比)					CNS 規定值		
	0%	12.5%	25%	37.5%	50%	一級磚	二級磚	三級磚
燒失量(%)	6.8	8.0	9.5	12.4	12.9	-	-	-
體積收縮率(%)	5.50	4.32	3.36	3.34	1.96	-	-	-
密度(g/cm ³)	1.747	1.660	1.644	1.617	1.604	-	-	-
吸水率(%)	14.7	18.9	20.1	22.2	23.0	< 15%	< 19%	< 23%
抗壓強度(kg/cm ²)	277.39	250.05	238.98	209.25	150.94	> 150	> 100	> 70

表 4. 黏土、還原矽粉及含還原矽粉磚之 EDS 成分分析(wt%)。

Table 4 Chemical composition of clay SSRS and brick containing SSRS (wt%).

元素	黏土	還原矽粉	含還原矽粉磚		
			還原矽粉 37.5%	還原矽粉 25%	還原矽粉 12.5%
Mg	1.33	14.72	1.53	2.02	2.23
Al	20.45	2.95	17.45	14.92	16.32
Si	51.86	6.68	46.21	42.94	44.58
K	12.22	-	6.82	8.78	5.2
Ca	1.09	57.79	10.29	16.53	20.12
Ti	-	1.31	1.64	1.08	1.54
Cr	-	6.85	-	-	-
Mn	-	3.61	-	-	-
Fe	11.30	4.1	16.05	13.74	10.02

表 5. 黏土及還原矽粉之 TCLP。

Table 5 Results of leaching test of SSRS.

重金屬	還原矽粉 (mg/L)	溶出試驗標準 (mg/L)
Hg	0.0007	< 0.2
Pb	0.11	< 5.0
Cd	< 0.01	< 1.0
Cr	0.12	< 5.0
Cr6+	N.D.	< 2.5
As	< 0.0005	< 5.0
Cu	N.D.	< 15
Zn	N.D.	< 25

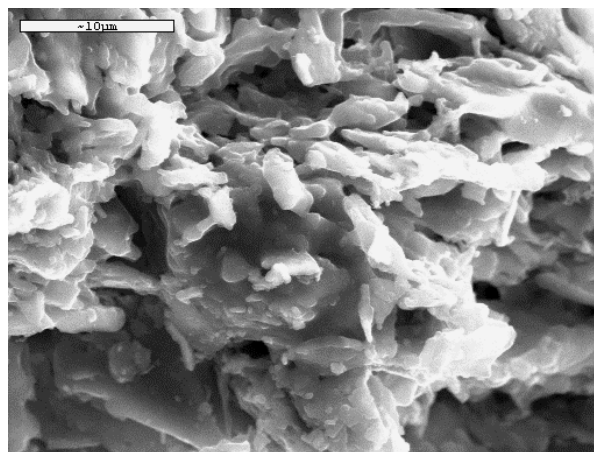


圖 3 含 37.5%還原矽粉磚之 SEM 照片(×3000)。
Figure 3 SEM picture of brick containing 37.5%SSRS (×3000).

3.5 毒物溶出試驗(TCLP)

表 4 為黏土、還原矽粉及含還原矽粉磚之 EDS 成分分析結果，顯示還原矽粉雖有微量的 Cr 元素，在 TCLP 中亦檢測出還原矽粉有微量的 Cr 元素溶出，如表 5 所示，但符合小於溶出試驗標準 5 mg/L 之要求。又由 EDS 分析還原矽粉添加量為 12.5%、25%與 37.5%，皆未發現 Cr 元素，可能添加量未達 100%，稀釋 Cr 元素含量。整體而言，還原矽粉的重金屬含量未超出溶出標準，故可不必考慮含還原矽粉磚之重金屬溶出影響。

4. 結論

本研究係探討將不銹鋼還原矽與黏土混合，經

燒結製成建築用磚之技術研發，經由試驗結果與分析獲得以下結論：

1. 不銹鋼還原矽粉適合添加於黏土中以製成工程用磚。
2. 在 800 °C 燒結條件下，影響含不銹鋼還原矽粉磚品質之主要因素，為黏土塑性性質與不銹鋼還原矽粉添加量。
3. 添加還原矽粉可降低磚之體積收縮率但會增加燒失量。
4. 當還原矽粉添加量低於 12.5%時，可製成二級磚，其吸水率及抗壓強度分別為 18.9%、250 kg/cm²，符合 CNS 3319 要求。添加 25 至 50%還原矽粉時，可製成三級磚，其吸水率及抗壓強度分別為 23%、150 kg/cm²，符合 CNS 3319 要求。

參考文獻

1. Li Yongde and Sun Yao, "Preliminary study on combined-alkali-slag paste materials", *Cement and Concrete Research*, Vol. 30, Issue: 6 (2002) pp. 963 ~ 966.
2. H. Motz and J. Geiseler, "Products of steel slags an opportunity to save natural resources", *Waste Management*, Vol. 21, Issue: 3 (2001) pp. 285 ~ 293.
3. Shi Caijun and R. L. Day, "Some factors affecting early hydration of alkali-slag cements", *Cement and Concrete Research*, Vol. 26, Issue: 3 (1996) pp. 439 ~ 447.
4. William F. Smith, in: *Foundation of Materials Science and Engineering*, McGRAW-Hill, 1993, pp.544-548.
5. Russ Winfried, Mörtel Heinrich, and Meyer-Pittroff Roland, "Application of spent grains to increase porosity in bricks", *Construction and Building Materials*, Vol. 19, Issue:2 (2005) pp. 117 ~ 126.
6. Lin Deng-Fong, Luo Huan-Lin, and Sheen Yeong-Nain, "Glazed Tiles Manufactured from incinerated Sewage Sludge Ash and Clay", *Journal of the Air and Waste Management Association*, Vol. 55 (2005) pp. 163 ~ 172.
7. CNS 3319:1972 Method of test for general types of bricks for building.

收到日期：2005 年 8 月 25 日

修訂日期：2006 年 7 月 31 日

接受日期：2006 年 8 月 12 日

