

廢鈹鐵硼磁鐵資源回收之研究

陳昱融、李清華；蔡尚林

E-mail: 9511439@mail.dyu.edu.tw

摘要

鈹鐵硼磁鐵為目前各種磁鐵中磁性最強之磁鐵，由於擁有超強磁力，近年來已逐漸成為磁鐵產業的主流，廣泛被應用於各種磁性產品。鈹鐵硼磁鐵以鈹、鐵、硼為主要成分，由於國內磁鐵業者日益增加鈹鐵硼磁鐵產量，鈹鐵硼磁鐵之廢棄量亦會逐年成長，這些廢鈹鐵硼磁鐵其本身所含之鈹有價金屬，如無法回收，亦會造成整體資源浪費甚為可惜。因此本研究利用脫磁、研磨與篩分、浸漬、調整pH值、溶媒萃取、離子交換、置換、電解及沉澱等方法，來回收廢鈹鐵硼磁鐵中鈹與鈷有價金屬，並研擬出最佳廢鈹鐵硼磁鐵整合性資源回收及處理技術流程。根據本研究之成果顯示，廢鈹鐵硼磁鐵置於350 之加熱爐中15分鐘，可將廢鈹鐵硼磁鐵之磁力去除，而脫磁後之廢鈹鐵硼磁鐵研磨篩分至通過50 mesh (0.297mm) 以下後，再將此研磨篩分物以3N硫酸為浸漬液，固液比為1g/50ml，浸漬溫度為27 ，於超音波震盪器中浸漬溶蝕15分鐘，可獲得鈹浸漬回收率100 %、鐵浸漬回收率100 %、鈷浸漬回收率93 %之效果，而後收集此浸漬液以氫氧化鈉將其pH值調整至0.6，待沉澱完全後過濾，可得到高純度之含鈹沉澱物($\text{Nd}(\text{OH})_3$ 或 NdOOH)，以售予專業之鈹資源回收精煉廠。另經過濾後的含鈹、鐵、硼、鈷、鎳之濾液，再以氫氧化鈉將其pH值調整至11，經沉澱過濾後，可獲得含鈹、鐵、硼、鈷、鎳之沉澱物，以售予專業之鐵、鈷資源回收精煉廠，而最終鈹金屬之回收率可達95.60 %，鈷金屬之回收率可達93 %，鐵金屬之回收率可達97.23 %。

關鍵詞：廢棄物；資源；回收；鈹；磁鐵；再生

目錄

封面內頁	簽名頁	授權書	iii	中文摘要	iv	英文摘要	vi	誌謝	vii	目錄	viii	圖目錄	xii	表目錄	xvi	第一章 緒論	1	1.1 前言	1	1.2 研究目的	2	第二章 文獻回顧	4	2.1 鈹鐵硼磁鐵之特性及構造	4	2.2 鈹鐵硼磁鐵相關回收及處理方式	6	2.3 鈹、鈷金屬的特性與用途	8	2.4 濕式冶煉法之介紹	10	2.4.1 預處理	11	2.4.2 溶蝕浸漬	12	2.4.3 固液分離	13	2.4.4 調整pH值	13	2.4.5 純化與回收	13	第三章 研究方法及設備	34	3.1 廢鈹鐵硼磁鐵之收集及脫磁	34	3.2 廢鈹鐵硼磁鐵之研磨與篩分	35	3.3 廢鈹鐵硼磁鐵之性質分析	35	3.3.1 ICP有價金屬全含量分析	36	3.3.2 比重分析	39	3.3.3 水份及灰份分析	40	3.3.4 掃描式電子顯微鏡分析	41	3.3.5 X光單晶繞射儀分析	42	3.4 廢鈹鐵硼磁鐵之浸漬溶蝕	42	3.5 調整pH值之研究	43	3.6 純化回收之研究	44	3.6.1 溶媒萃取之研究	44	3.6.2 離子交換之研究	45	3.6.3 置換法之研究	46	3.6.4 電解法之研究	46	3.6.5 沉澱法之研究	47	3.7 訂定最佳廢鈹鐵硼磁鐵整合性資源回收及處理技術流程	47	第四章 結果與討論	58	4.1 廢鈹鐵硼磁鐵之收集及脫磁	58	4.2 廢鈹鐵硼磁鐵之研磨與篩分	59	4.3 廢鈹鐵硼磁鐵之性質分析	60	4.3.1 ICP金屬全含量分析	61	4.3.2 比重分析	62	4.3.3 水份分析及灰份分析	63	4.3.4 掃描式電子顯微鏡分析	63	4.3.5 X光單晶繞射儀分析	64	4.4 廢鈹鐵硼磁鐵浸漬溶蝕實驗	64	4.4.1 浸漬溫度之選擇	65	4.4.2 浸漬劑種類之選擇	66	4.4.3 硫酸之浸漬	66	4.4.4 鹽酸之浸漬	68	4.4.5 焙燒後直接水浸漬之實驗	71	4.4.6 最佳浸漬條件	71	4.5 浸漬液調整pH值之結果與討論	72	4.5.1 硫酸浸漬液調整pH值之結果與討論	72	4.5.2 鹽酸浸漬液調整pH值之結果與討論	77	4.6 含鈹、鐵、硼、鈷、鎳濾液純化回收之結果與討論	78	4.6.1 溶媒萃取之結果與討論	79	4.6.2 離子交換之結果與討論	80	4.6.3 置換之結果與討論	82	4.6.4 電解之結果與討論	83	4.6.5 沉澱之結果與討論	84	4.6.5.1 氨水調整pH值之結果與討論	85	4.6.5.2 添加過氧化氫沉澱之結果與討論	85	4.6.5.3 添加硫化鈉沉澱之結果與討論	86	4.6.6 含鈹、鐵、硼、鈷、鎳濾液以NaOH調整pH值至11	88	4.7 最佳廢鈹鐵硼磁鐵整合性資源回收及處理技術流程	88	第五章 結論與建議	135	5.1 結論	135	5.2 建議	138	參考文獻	140
------	-----	-----	-----	------	----	------	----	----	-----	----	------	-----	-----	-----	-----	--------	---	--------	---	----------	---	----------	---	-----------------	---	--------------------	---	-----------------	---	--------------	----	-----------	----	------------	----	------------	----	-------------	----	-------------	----	-------------	----	------------------	----	------------------	----	-----------------	----	--------------------	----	------------	----	---------------	----	------------------	----	-----------------	----	-----------------	----	--------------	----	-------------	----	---------------	----	---------------	----	--------------	----	--------------	----	--------------	----	------------------------------	----	-----------	----	------------------	----	------------------	----	-----------------	----	------------------	----	------------	----	-----------------	----	------------------	----	-----------------	----	------------------	----	---------------	----	----------------	----	-------------	----	-------------	----	-------------------	----	--------------	----	--------------------	----	------------------------	----	------------------------	----	----------------------------	----	------------------	----	------------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	-----------------------	----	------------------------	----	-----------------------	----	---------------------------------	----	----------------------------	----	-----------	-----	--------	-----	--------	-----	------	-----

參考文獻

1. 國內磁鐵業者訪查結果. 2. 中國稀土在線網頁: <http://www.cre.net> 3. 牧野昇著、賴耿陽編譯，永久磁石技術實務，復漢出版社，1982.
4. 林子銘著，永久磁鐵，正言出版社，1983. 5. 李里烈譯，磁鐵和磁力，中華書局，1969. 6. 磁通磁性科技有限公司網頁: <http://www.magtech.com.tw> 7. 王以真編著，實用磁路設計，全華科技圖書公司，民國84年10月. 8. 鄭振東編譯，實用磁性材料，全華科技圖書公司，民國88年6月. 9. 黃筱琪，添加稀土元素(La)與過渡元素(V、Mo)對鈹鐵硼磁膜之影響，國立中正大學碩士論文，民國90年6月. 10. 邱軍浩，高性能燒結(Nd,Dy)(Fe,Co,Cu)磁石研製及矯頑機制之研究，國立中正大學碩士論文，民國91年6月. 11. 張文成，高性能稀土永久磁石之研究與發展，物理雙月刊(22卷六期)，2002年12月. 12. 稀有金屬編輯委員會編著，稀有金屬手冊，冶金工業出版社，1995. 13. 張世益，內藏式永磁馬達之設計，逢甲大學碩士論文，民國90年5月. 14. 網頁: <http://www.corrosionsource.com/handbook/periodic/60.htm> 15. O. Takeda、T.H. Okabe、Y. Umetsu，" phase equilibrium of the system Ag-Fe-Nd,and Nd extraction from magnet scraps using molten silver "，Journal of alloys and Compounds Vol.379，pp.305-313，2004. 16. J.S.

Preston, A.C. du Preez, P.M. Cole, M.H. Fox, "The recovery of rare earth oxides from a phosphoric acid by-product. Part4. The preparation of magnet-grade neodymium oxide from the light rare earth fraction", *Hydrometallurgy* Vol.42, pp.151-167, 1996. 17. Kuniaki murase, Ken-ichi Machida, Gin-ya Adachi, "Recovery of rare metals from scrap of rare earth intermetallic material by chemical vapour transport", *Journal of Alloys and Compounds* Vol.217, pp.218-225, 1995. 18. D. Nayak, S. Lahiri, N.R. Das, "Synergistic extraction of neodymium and carrier-free promethium by the mixture of HDEHP and PC88A", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* Vol.240 No.2, pp.555-560, 1999. 19. 洪崇欽, 砷化鎳廢棄物資源回收之研究, 大葉大學碩士論文, 民國92年6月. 20. 蔡尚林, 自特殊鋼料的廢料中回收再生稀有金屬(鉍、鎢)化合物研究, 工研院能資所, 民國80年7月. 21. 崔廣仁, 稀有金屬的選礦, 冶金工業出版社, 1975. 22. 網頁: <http://www.webelements.com/webelements/index.html> 23. 網頁: <http://en.wikipedia.org/wiki/Neodymium> 24. 延陵化學元素志網頁: <http://www.ngensis.com> 25. 柯清水, 新世紀化化學大辭典, 正文書局, 2000. 26. 蔡敏行, 提煉冶金概論講義, 成功大學資源工程學系, 民國91年1月. 27. 陳明傑, 廢鋰電池資源再生之研究, 大葉大學碩士論文, 民國91年6月. 28. 蕭孟官, 廢脫硝觸媒資源回收之研究, 大葉大學碩士論文, 民國93年6月. 29. 張啟陽, 應用電磁學, 東華書局, 民國79年2月. 30. 朱銘松, 高溫型 Nd-Fe-B燒結磁石之磁性與顯微結構研究, 逢甲大學碩士論文, 民國86年6月. 31. 何禮軒, PC88A萃取樹脂之合成與其在稀土分離之性能研究, 國立成功大學碩士論文, 民國85年6月. 32. 田福助, 電化學理論與應用, 高立圖書有限公司, 民國80年5月. 33. 樂頌光、魯君樂編著, 再生有色金屬生產, 中南工業大學出版社, 1997. 34. T. Sekine, Y. Hasegawa, *Solvent Extration Chemistry*, Marcel Dekker, New York, 1997. 35. 吳其祐, 燃油飛灰中鈾、鎳浸漬液的溶媒萃取之研究, 成功大學碩士論文, 民國90年7月. 36. 劉時傑編著, 鉑族金屬礦冶學, 冶金工業出版社, 2001. 37. F.C.Nachod, J.Schubert, *Ion Exchange Technology*, Academic Press, New York, 1956. 38. 工業污染防治技術手冊之十, 工業廢水離子交換處理, 民國80年6月. 39. M.Marhol, *Ion Exchange in Analytical Chemistry*, Elsevier, New York, 1982. 40. P. Fornari, C. Abbruzzese, "Copper and nickel selective recovery by electrowinning from electronic and galvanic industrial solutions", *Hydrometallurgy* Vol.52, pp. 209-222, 1999. 41. 環檢所網頁: <http://www.niea.gov.tw/> 42. 曹簡禹、黃定加, 物理化學實驗學, 正中書局, 民國76年6月. 43. 網頁: <http://www.nchu.edu.tw/~rict/sem/> 44. 孫逸民、陳玉舜、趙敏勳、謝明學、劉興鑑主編, 儀器分析, 全威圖書有限公司, 民國89年12月. 45. Pingwei Zhang, Toshiro Yokoyama, Osamu Itabashi, Toshishige M. Suzuki, Katsutoshi Inoue, "Hydrometallurgical process for recovery of metal values from spent lithim-ion secondary batteries", *Hydrometallurgy* Vol.47, pp. 259-271, 1998. 46. C.A. Noguera, F. Delma, "New flowsheet for the recovery of cadmium, cobalt and nickel from spent Ni-Cd batteries by solvent extraction", *Hydrometallurgy* Vol.52, pp. 267-287, 1999. 47. N.B. Devi, K.C. Nathsarma, V. Chakravorty, "Separation and recovery of cobalt(II) and nickel(II) from sulphate solutions using sodium salts of D2EHPA, PC-88A and Cyanes 272", *Hydrometallurgy* Vol.49, pp. 47-61, 1998.