

低鐵損劣化之薄型馬達矽鋼片成型製程技術研究

¹劉育達 / ¹黃守成 / ²黃昆明

¹金屬工業研究發展中心 精微成形研發處 精密成形系統組

²金屬工業研究發展中心 精微成形研發處 處長

前言：電磁損失約占總損失的 70%，為馬達損耗的主要來源；且越大型的馬達，鐵損所佔比例越高。採用薄型且高品級的電磁鋼片，可有效改善鐵芯之電磁特性；然目前最常採用將其成形的沖壓方式，卻可能造成其鐵損值的劣化，而使其改善的成效不彰。本文目的即在探討如何透過沖壓參數的控制，減少電磁鋼片鐵損劣化值。

以中小型感應馬達而言，銅損較高，約占電磁損失之 60~80%；但越大型馬達，其鐵損所佔比例則會越來越高。電磁鋼片的鐵損，除了材料本身的厚度與等級所決定外，鐵芯的成形(如：沖壓、雷射切割、線切割等)、堆疊(如：鉚接、鉀接、膠合等)與組裝(如：緊配、熱縮配等)製程，皆會使其電磁特性再劣化[1]。舉例來說，量產最常採用的沖壓成形，因過程中會使材料受到拉伸、擠壓等變形型態，在材料內部產生殘留應力造成鐵損劣化[2-4]；是故沖壓製程參數需妥善加以控制，才能降低鐵損劣化值，進而有效改善馬達效率。

電磁鋼片厚度變薄確實可降低渦流損，然通常薄型電磁鋼片也都為較高之等級，在經加工製程後，其鐵損劣化程度將更為嚴重。經粗估，若單純將材料升級，則由 50CS290 改為 25CS1300 HF，估計鐵損值可改善約 18%，馬達效率改善 0.2~0.3%；但若 25CS1300HF，在未採用優化之沖壓參數，則沖壓造成之鐵損劣化值，估計約為 3 成，反而可能使馬達效率低落。是故優化之沖壓參數，才可使薄型、高等級電磁鋼片帶來之低鐵損效益，得以彰顯。

本文用的材料是為 25CS1500HF，以不同之沖壓參數，製作 30 mm×134 mm 之沖壓試片。鐵

損量測設備是為 Soken DAC-IR3，設定磁通密度 1.5 T、頻率 50 Hz，非方向性(NGO)；此外，為減少鐵損值受到拼接間隙或是拼接力之影響，並設計了鐵損量測平台，提供試片固定之拼接力量。實驗架構，是使磁路通過沖壓參數相同且兩兩拼接的試片，量測磁路通過兩個沖壓邊後，鐵損值的劣化程度；而比較基準，是為同樣架構下，採用不產生殘留應力的電化學加工試片。而在改變沖壓成型的製程參數當中，常見的有：沖壓間隙、沖壓速度、壓料力、潤滑液種類、沖頭/模仁材料等；在此採用較為業界所改變之參數[5]：

- (1) 沖壓間隙(板厚為 0.25 mm，板厚的 t%)，介於一般與精密沖壓間之 4 種間隙：(a) 2%、(b) 4%、(c) 6%、(d) 8%。
- (2) 沖壓速度(stroke per minute, SPM)：(a) 250 SPM、(b) 380 SPM (一般速度)、(c) 510 SPM。
- (3) 壓料力(剪切力= 3131.9 Kgf，剪切力的 f%)：(a) 10%、(b) 30%、(c) 50%。

經將試片沖壓後的鐵損值進行量測，歸納各沖壓參數與鐵損值之關聯性，整理如下：

- (1) 沖壓間隙與鐵損之關係：無論是沖壓件或下料件，較大(8%)之沖壓間隙，有最低之鐵損值，分別是為 1.86 W/kg (圖 1 中 A 組參數)與 2.06 W/kg (圖 1 中 B 組參數)；若沖切過程的

沖壓參數代號*	間隙(%)		2					4					6					8								
	沖壓速度 (SPM)	壓料力 (%)	機械特性			電機特性		得分加總	機械特性			電機特性		得分加總	機械特性			電機特性		得分加總						
			沖切品質得分	產能得分	尺寸精度得分	鐵損值	鐵損值得分		沖切品質得分	產能得分	尺寸精度得分	鐵損值	鐵損值得分		沖切品質得分	產能得分	尺寸精度得分	鐵損值	鐵損值得分							
+XX2510	250	10%	4	1	1	2.38	1	7	3	1	1	1.89	3	8	2	1	2	2.06	2	6	1	1	1	1.89	3	6
-XX2510					2.45	2	8	2.5			1	6	2.31	3			7	2.2	4	7						
+XX2530					2.38	1	8	1.9			4	10	2.21	2			7	1.96	3	7						
-XX2530		2.32	2	9	2.2	3	8	2.06	4	8	2.02	3	8													
+XX2550		50%	3	3	2.36	1	9	1.92	4	11	2.28	2	8	2.02	3	8										
-XX2550					2.34	2	10	2.56	1	8	2.08	4	10	2.24	3	8										
+XX3810	380				10%	4	2	1	2.26	1	8	3	2	1	2.08	3	9	2	2	1	2.11	2	7	1	2	1
-XX3810		2.3	3	10				2.52	1	7	2.28			4	9	2.44	2			6						
+XX3830		2.28	1	9				2.21	2	9	1.99			4	10	2.07	3			8						
-XX23830		2.39	2	10	2.42	1	8	2.37	3	9	2.37	3	8													
+XX3850		50%	3	3	2.27	1	10	2.01	2	10	1.98	3	10	1.86	4	10										
-XX3850					2.33	2	11	2.51	1	9	2.25	4	11	2.28	3	9										
+XX5110	510				10%	4	3	1	2.31	1	9	3	3	1	2.01	4	11	2	3	1	2.12	2	8	1	3	1
-XX25110		2.31	3	11				2.5	1	8	2.29			4	10	2.4	2			7						
+XX5130		2.33	1	10				1.9	4	12	2.01			3	10	2.1	2			8						
-XX5130		2.49	3	12	2.6	1	9	2.55	2	9	2.3	4	10													
+XX5150		50%	3	3	2.28	1	11	2.07	3	12	2.23	2	10	2.03	4	11										
-XX5150					2.3	2	12	2.39	1	10	2.29	3	11	2.19	4	11										

註：沖壓參數代號：+表沖切件 -表下料件，數字分別代表間隙、速度、壓料力

圖 1 25CS1500HF 經沖壓後特性綜合評比

沖壓件與下料件需同時兼顧，則建議採圖 1 之 C 組參數。

- (2) 沖壓速度與鐵損之關係：無論是沖壓件或下料件，沖壓速度與鐵損值較無明顯之關聯性。
- (3) 壓料力與鐵損之關係：無論是沖壓件或下料件，壓料力與鐵損值較無明顯之關聯性。

最後將本實驗的沖壓參數，分別對機械性質與電機性質造成之影響，進行綜合評比(性能佳得分高)。

- (1) 機械性質：(a)設備表現：模具壽命(間隙)、產能(速度)、(b)產品表現：沖切邊品質(間隙)、尺寸精度(間隙、壓料力)。
- (2) 電機性質：鐵損值。

圖 1 中的 D 組是為綜合評比高分群，可做為產品製作時的選擇考量。

參考文獻

[1] A. Krings, "Iron losses in electrical machines- influence of material properties-manufacturing processes-and inverter operation," Electrical Engineering, KTH, Stockholm, Sweden, 2014.

[2] Y. Kurosaki, H. Mogi, H. Fujii, T. Kubota, and M.

Shiozaki, "Importance of punching and workability in non-oriented electrical steel sheets," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 320, no. 20, pp. 2474-2480, Oct. 2008.

[3] Y. Zaizen, T. Omura, M. Fukumura, K. Senda, and H. Toda, "Evaluation of stress distribution due to shearing in non-oriented electrical steel by using synchrotron radiation," *AIP Advances*, vol.6, no.5, pp. 055926-1-8, Mar. 2016.

[4] N. Takahashi and D. Miyagi, "Examination of magnetic properties of electrical steel under stress condition," *IEEE international Conference on Electrical Engineering*, no. O-003, Okinawa, Japan, 6-10 July, 2008.

[5] 山口文雄 著、陳玉心 編譯，連續沖壓模具設計之基礎與應用，日刊工業新聞社/全華圖書股份有限公司，第 1-2~2-9 頁，2012 年。