

科學圖書大庫

最新工業材料

譯者 廖學豐 周石樹 張文英

徐氏基金會出版

06071

科學圖書大庫

最新工業材料

譯者 廖學豐 周石樹 張文英



Wa c0006071

第七机械工业部五院情报室
藏 书

徐氏基金會出版

11/14/05

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

科學圖書大庫

監修人 徐銘信 科學圖書編譯委員會主任委員
編輯人 林碧鏗 科學圖書編譯委員會編譯委員

版權所有

不許翻印

中華民國六十七年三月二十日初版

最新工業材料

基本定價 2.20

廖學豐 國立台灣大學電機系畢業
譯者 周石樹 台灣電力公司工程處段長
張文英 台灣電力公司研究所課長

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(63)局版臺業字第0116號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 15795 號
承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話 9719739

我們的工作目標

文明的進度，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成爲事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，允爲社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啓發，始能爲蔚爲大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏爲監修人，編譯委員林碧鏗氏爲編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分爲叢書，合則大庫。爲欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於爲國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尚在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，陸續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；

大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尚祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

序

所謂「工業材料」種類繁多，一般可以分類為金屬材料與非金屬材料，其中金屬材料又分為鋼鐵材料、非鐵材料、重金屬材料、輕金屬材料、稀有金屬材料、或各種合金材料等。至於基本的單純金屬，近年極端提高純度的需要殷切，例如鎢、矽等材料的純度提高達 9^9 ， 9^{10} ， 9^{11} （由 99.9999999 % Nine nine % 至 99.99999999 %，Ten nine %，更至 99.999999999 %，Eleven nine %），而且由此又開展了今天的超小型電子機器的製造可能性。非金屬材料，無機材料與有機材料競相改善重要的特性，例如某一種無機材料，以具有高硬度、高耐火性特徵的各類氧化物、碳化物、硼化物、氮化物、矽化物的金屬粉末，經由高壓成形、高溫燒結製成的 Cermet 在很廣範圍應用為超高溫、超硬度材料。至於有機材料，如衆所知，各種合成樹脂材料所示的，彙集有機合成化學與巨分子化學精華的合成化學促進了廿世紀科技的高度進展。

筆者暨於近年的這一種金屬、無機、有機材料急速的改進，由筆者三人共同逐譯本書，本書內容深入研討各類材料特性的分析，對於各電子工業材料或電子工業有關的工作人員極具參考價值，讀者詳讀後設有所獲，則筆者幸甚。

廖學豐・周石樹・張文英

66・6・27

目 錄

序

第一章 複合磁性材料

- 1-1 材料複合的意義..... 1
- 1-2 有關複合材料的理論研究 6
- 1-3 複合磁心的種類與特性 13
- 1-4 微粉磁鐵的種類與特性 16

第二章 磁 帶

- 2-1 磁性記錄..... 26
- 2-2 磁帶的製造..... 54
- 2-3 磁帶的磁性粉末..... 69
- 2-4 合金磁性記錄體..... 97

第三章 複合電介體

- 3-1 概述..... 118
- 3-2 電介體瓷器材料..... 119
- 3-3 玻璃系複合電介體材料 134
- 3-4 壓電材料..... 141
- 3-5 正特性電阻材料..... 156

第四章 複合半導體元件

(MOS元件與異質接合)

- 4-1 序..... 163
- 4-2 半導體的表面現象..... 167
- 4-3 半導體表面氧化以及
MOS 元件..... 173
- 4-4 化合物半導體以及異質
接合..... 180

第一章 複合磁性材料

1-1 材料複合化的意義

1-1-1 支持材料革新的複合化技術 預測未來的技術的方法很多，較為早期的方法有「外挿法」，將收集的資料（Data）整理後，依照年次配置，求出未來某一時點的交叉點做為預測值。最近開發的方法則為「收集統計法」，由日本經濟研究中心提倡使用為未來的預測。

預測結果發現，關於輸送機械或情報裝置等系統技術問題，預測項目多彩多姿，而且也有長期預測的可能性，但是關於材料或化學物質，則幾乎無法加以預測。在這種範圍內，含有「突然發生變體，將產業結構完全改變的畫新物件的發現」的可能性。已有的事實有電晶體（Transistor）、半導體（Semi-conductor）以及合成樹脂（Resin）、塑膠（Plastic）等物件的發現改觀了整個工業的形態。這種突然變異的可能性使材料革新的預測更見困難。

但是，對於材料短期的預測仍然有相當的可靠性，祇要是某一程度的準確度捕捉正確無誤的目標，即可以做某種程度的預測。在目前，顯而易見，電工材料將由複合材料（Composite Material）的形態做為主題目標發展下去，在研討電工材料的技術問題需要這種觀念做為基礎。

將2種以上材料複合，分別選取具備不同性質的材料，例如耐蝕性與強度，耐熱性與磁性，強度與黏度等不同特徵的材料，組合形成另一種新的材料，相互發揮優點彌補缺點。這種作業屬於材料組合的技術，屬於一種高度系統化的技術。

試舉一例，使用在一種人造衛星太空船電動機的特殊磁性材料，兼具強度、耐熱性以及高導磁率的優異性能，至於這種磁性材料的製法是，軟質磁性材料的矩陣（Matrix）中，擴散鎳的化合物，分別擔承磁性與強度，相互彌補弱點，製成典型的複合材料。

單一物質無法成為萬能物質，為求發揮每一物質所具有的特殊性能，必

須考慮複合材料的發展。關於複合材料，不同系列材料或同一系列材料均可以適宜採用，例如鈦（Titanium）或鈷（Zirconium）等耐蝕性金屬板，與鐵板重疊接合時，可以製成兼具耐蝕性與強度的經濟耐蝕材料，或是硬質材料的碳化鈷（Tungsten Carbide）的脆弱性，由鈷（Cobalt）的結合改為高韌性屈折率的不同種類的透明複合體，製成可以將光線全面反射的光學纖維等，這些都是複合材料（Composite Material）的實例。

目前，各先進國家都在積極發展複合材料，例如玻璃纖維以塑膠（Plastic）固定的 FRP（強化纖維塑膠），水泥中埋入預加應力鋼筋的預力混凝土，以及電容器、電阻器等回路部品與機構部品的複合化等研究，已有相當的成就。

總之，這種發揮材料的優點，彌補缺點的「複合方法」形成材料開發的目標。往年材料革新的研究，專心在新金屬的發現，以及利用合金處理尋求特殊的性質。但是，新的「複合化技術」有了突破性的改革，並且應用範圍廣及任何材料，有了非常樂觀的將來性。當然這種革新新技術也包括了本章所述「磁性材料」。

1-1-2 磁性材料的特性 分類磁性材料，得到「永久磁鐵材料」以及「磁心材料」兩大類。前者（永久磁鐵材料）的特徵在高的保磁力（ H_c ），後者

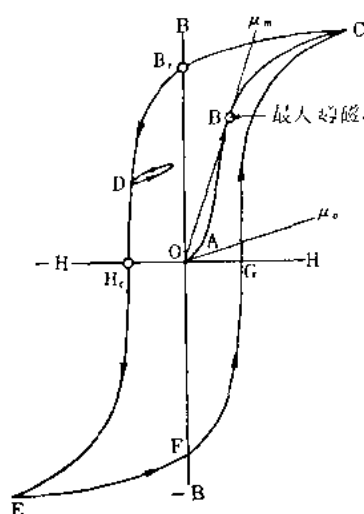


圖 1-1 磁化曲線與磁滯曲線

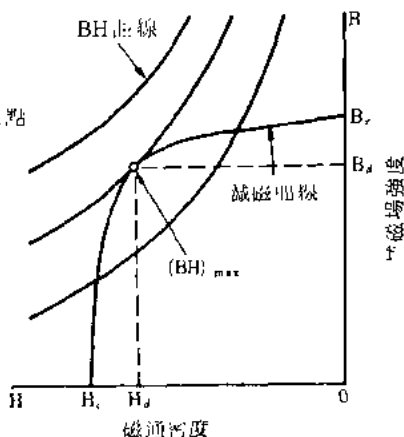


圖 1-2 減磁曲線的 BH 曲線

(磁心材料)則以高導磁率為特徵。這種分類有時則改為「硬質磁性材料」以及「軟質磁性材料」兩類盡分。

永久磁鐵使用在供給外部空間磁場的情況下，性能上以供給一定磁場時磁鐵尺寸愈小愈佳。如圖 1-1 所示，每單位面積的磁通密度 (B) 以及每單位長度的磁場強度 (H) 分別繪成縱橫坐標的 $B-H$ 曲線通常表示磁性材料的磁性狀態，但是對於永久磁鐵常取減磁場作用下使用的減磁曲線。

永久磁鐵在外部可以儲存的有效磁性能量，比例於磁通密度 (B_d) 與減磁場的磁場強度 (H_d) 的乘積。因此，如圖 1-2 所示，永久磁鐵能力可以做最大效率發揮點在對應 (BH)_{max} * 動作點的狀態。

在圖 1-2 中，殘磁通密度 (Residual Flux Density) (B_r) 是，磁化到飽和點後，將有效磁場強度 (H_e) 減為零時的磁通密度，保磁力 (抗磁力) 是，達成 $B=0$ 所需減磁場強度。一般的工業界所提保磁力，係由 $B-H$ 減磁曲線上 $B=0$ 點 H 的大小來決定，但是在物理性研究中由 $I-H$ 減磁曲線中， $I=0$ 點 H 的大小來表示保磁力。這種不同表示在研討中應加以認清，後者的情況， H_c 常由 iH_c 或 H_{ci} 符號表示。

至於磁心材料，以容易磁化為主要條件，在圖 1-1 中磁化曲線 (OABC) 中的導磁率 ($\Delta B/\Delta H$) 較大為其特點。多半的情況，最大導磁率 (μ_m) 以及初導磁率 (μ_0) 的 2 點成為問題。

磁場增加到飽和點後，反向又逐步減回原點時所得 $B-H$ 曲線沿着 $C-B_r-D-H_c-E-F-G$ 描成一循環。這種磁滯曲線 (Hysteresis Curve) 所圍面積比例的能量，以磁滯損失 (成為熱能) 的形態損失。因此，通常要求這種面積小，也就是保磁力較小的材料比較好。

但是，在高頻用磁性材料，情況更是複雜，渦流損失 (Eddy Current Loss) 的比率遠大於這種磁滯損失 (Hysteresis Loss)，導磁率的大小不再成為重要因素，而改以電阻的大小成為第一條件，在此即可以發現，磁性材料複合化的需要性。

1-1-3 複合化機能以及發展

二種以上異質材料組合的目的有多種，由於各種異質材料相互的影響效果，可以看出各自獨特的任務。

*最大能量 (BH)_{max} 是，減磁曲線上磁通密度 (B_d) 與減磁場磁場強度 (H_c) 乘積的最大值。該值除以 8π 即成為該磁鐵有效使用於外界的每單位體積的磁性能量 (erg/cm^3)。

在此，以磁性材料為核心，檢討複合磁性材料構成元件各自的功能，

(1)相乘機能 首舉，前述的互相彌補缺點，以相乘化效果將特性提高為高性能化的形態。

例如，使用為磁心的磁性材料的首要條件是高的導磁率。在較弱的磁場中，能夠導出高的磁通密度在效率觀點非常重要。但是，頻率升高，超出 10^4 Hz 時，情況完全改觀。在這種狀態下，高導磁率的要求已不顯得重要，取而代之，渦流 (Eddy Current) 的損失顯殊的增加，而以如何設法減少渦流損失成為核心問題。不論為磁通密度 (Flux Density) 或導磁率 (Permeability)，由其絕對值看，鐵 (Iron)、鈷 (Cobalt)、鎳 (Nickel) 等三種基本強磁性材料為主要成份的合金，形成最優秀的磁性材料。但是，金屬的電阻極小，在前述高頻回路由於激烈的磁場變化引起相當嚴重的渦流問題。

為求防止這種現象，將強磁性金屬製成粉末狀，間隙埋入適宜的絕緣性物質時，前者的磁性特點與後者的電氣絕緣特徵互相補償，兩種性能獲得相乘化效果。此即所謂「壓粉磁心」。

類似的例子見於橡膠磁鐵。為求給予堅硬的永久磁鐵材料適宜的可撓性與切削性，近年已有磁鐵材料與橡膠 (Rubber)、塑膠 (Plastic) 的複合材料的開發。

依照往年的觀念，磁鐵屬於堅固的物體，但自從將橡膠使用為強磁性微粒子的黏合劑後，已發現具有彈性的橡膠磁鐵應市。強磁性微粒子有 Ba-Ferrite, MnBi 微粒粉等種種物質，但由實用化觀點看以 Ba-Ferrite 最佳。如果增加橡膠—Ba-Ferrite 混合比 (Ba-Ferrite/橡膠的重量比) 時，磁性顯見增加，但橡膠彈性特性則劣化。因此混合比的選擇因地而異，以磁性為主體的情況下採用硬質橡膠磁鐵 (混合比大)，彈性為主體的情況下採用軟質橡膠磁鐵 (混合比小)。這種材料自 1958 年開始工業化，在密封墊 (Gasket)、皮帶 (Belt) 以及各種填襯 (Packing) 材料有相當的應用。

陶磁鐵 (Ferrite) 粉末，在橡膠板壓延作業中，容易使磁化軸方向與壓延方向成為直角，並且在壓延面並聯排列結晶體底面，而可以獲得磁性的異方向性的相乘效果。

除了前面所述二種材料混合並聯配置外，也可以將永久磁鐵材料與軟鐵形成串聯回路，形成一體燒結製成複合磁鐵 (Composite Magnet)。這種物體是在磁性回路中給予磁勢 (mmf)，將永久磁鐵與導引磁通的軟鐵等

二種機能複合化，屬於一種複合材料

(2) **補助機能** 複合化的第二種類型是，為求完全發揮主要材料的性能，由支持主材料的另一種材料，形成補助支援的功能。

近年應市的 ESD 磁鐵 (Elongated Single Domain Magnet) 即為一例。由此又引起近十年內，關於微粉末磁性物質的物性理論積極的研究。

一般的強磁性體均由多數的磁區 (Magnetic Zone) 集合形成。如果將該種強磁性體打碎成微粒子時，可以發現每一粒子形成單一的磁區。這就是所謂單磁區粒子。

磁性體磁化的過程中，先在較弱磁場中，以磁區的界面——磁壁 (Magnetic Barrier) 的移動形態進行磁化。這種原因在磁壁移動時最容易發生。在此考慮，如果不存在這種現象又有何種結果。通常形成單磁區的臨界直徑 (Critical Diameter)，由材料的不同而不相同，通常的粒徑在數 μ 到 0.01μ 範圍。在粒徑小於這種臨界直徑的微粉末，由於沒有磁壁，磁化變化是由旋轉 (Spin) 方向的迴轉 (移動) 引起，如果將磁性異方向性取較大值，儘量使迴轉困難時，就可以提高保磁力。

如此，將微粉末固定成形為所需磁鐵時，由於分別的強磁性粒子的磁矩 (Magnetic Moment) 的相互作用使保磁力降低。強磁性粒子充填密度愈高，這種影響愈大。Mondelson 等研究鐵 (Fe) 的微粉末磁鐵對磁性粒子充填密度的影響，獲得圖 1-3 的結果。粒子充填愈密，這種影響愈大，保磁

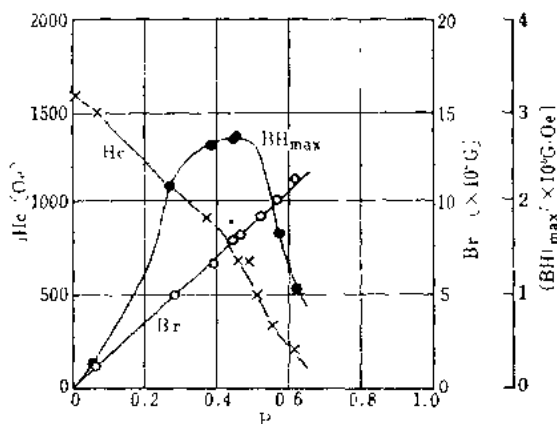


圖 1-3 鐵 (Fe) 的充填率對 ESD 粒子磁鐵特性的影響
(依據 Luborsky)

力降低，但是殘磁通密度上昇，當粒子的體積在全量大約 $1/2$ 的體積比時， $(BH)_{max}$ 值最大。

實際上製造磁鐵時，增減黏合劑 (Binder) 的充填度，可以適當選擇磁力以及殘磁通密度大小的組合。這種永久磁鐵稱為 ESD 磁鐵 (Elongated Single Domain)。

這種情況下，必須由微粉狀的鐵 (Fe) 或鐵合金的磁性特性最大發揮的條件下，適當增減充填材料的量。充填材料雖然不表出本身的特性，但是在製造最高性能材料的功能上，成為重要的構成元件。

如此，對於主要磁性材料，協助性的提高性能的複合成例尚多，例如近年發表的 MnAl 合金磁鐵。這種合金施予強烈加工時，結晶異方性增大，形成優異的磁性材料。但是，MnAl 合金本身材質極其脆弱，為求協助其渡過強烈的加工過程，套裝非磁性不銹鋼的鞘套，可以形成另一種複合材料。

(3) 成形機能 複合化的第 3 種形式，若由機能考慮則非常簡單，該形式是將粉末狀磁性材料以糊狀物膠合，取得適當形狀。

這種類型的材料，可以不必考慮粒子間相互的磁性干涉，而以儘量密集的方式充填固定。因此，祇要求接合、成形等功能，要求少量而且接合力強韌的膠合劑 (Binder)。

粒子間近接的狀態下，而又無相互的影響是由於結晶異方向性微粒子磁鐵所引起，例如，MnBi 合金、 RCO_5 合金 (稀土類元素—鈹合金)、Ferrite 等材料均屬於這一類。

本書另章所述「磁性帶 Magnetic Tape」由三種材料複合所形成，是 FeO 、 Fe_2O_3 的「針狀結晶」以及塗佈用「Tape」以及接合用「Binder」三部分所組成的。這種材料屬於典型的相乘化機能以及成形機能的組合材料。

1-2 有關複材料的理論研究

將 2 種以上材料複合時，不同於單獨的材料，互相發生影響，而且構成材料亦須具備能夠發揮複合化的特徵。

就此，做為複合材料的基本研究，試取 2 種典型的複合材料，「壓粉磁心」以及「微粉末磁鐵」，研討已知的理論。顯然的，前者表明磁性粉末的特性以及磁心機能的關係，後者則檢討單磁區粒子的動態。

1-2-1 壓粉磁心的電特性

感應器 (Inductor) 的好壞判斷中，由於磁心的併用，一方面使線圈損失減少 (或考慮減少線圈匝數)，另一方面又使磁

心損失增加（磁滯損失、渦流損失以及殘留磁通損失），產生兩方面相反的效果。在設計中必須瞭解兩種損失的相關性，選取最適當的設計數據。

在高頻磁場內，「磁心的優劣」往往由 Q 值表示。下列關係表示 Q 值。

$$Q = \frac{2\pi fL}{R_m + R_0} \dots\dots\dots (1-1)$$

式中表示，

f ：頻率 (Hz)

L ：有效電感量 (Inductance) (H)

R_m ：磁心的損失電阻 (Ω)

R_0 ：線圈的電阻 (Ω)

而且， $R_m + R_0$ 表示有效電阻 R 。

在環狀磁心的情況，有效導磁率 (μ_e) 以下式方式表示電感量 L 與有效導磁率 (μ_e) 的關係

$$\mu_e = \frac{Ll}{4\pi N^2 A} \times 10^9 \dots\dots\dots (1-2)$$

式中表示，

l ：磁心平均磁路 (cm)

N ：圈數

A ：截面積 (cm^2)

由 (1-1) 式、(1-2) 式可知，為求獲得良好的 Q 值，勢須減少有效電阻，增加有效導磁率。但是兩者相抵制，形成反比例關係而陷入困難問題中。由此， Q 值自有所能夠獲得的限度。

(1) 有效導磁率的降低 壓粉磁心的併用範圍，大約為 10G 程度，頻率範圍是在 1 KC ~ 100 MC 間。在壓粉磁心，由於提高絕緣電阻所需要絕緣性膠合劑 (Binder) 形成非磁性空隙，使磁心的有效導磁率顯著的降低。

壓粉磁心的導磁率，由於粒子形狀繁多，甚難由理論上的計算式，正確算出。

但是，如果由比較單純的看法着手，考慮在環狀磁心中，磁路中存在空隙 (g) 時，有效導磁率 (μ_e) 可以下式表示，

$$\mu_e = \frac{\mu_i}{r(\mu_i - 1) + 1} \dots\dots\dots (1-3)$$

式中表示，

μ_i ：磁心本質上的導磁率 r ：空隙長與磁路長的比值

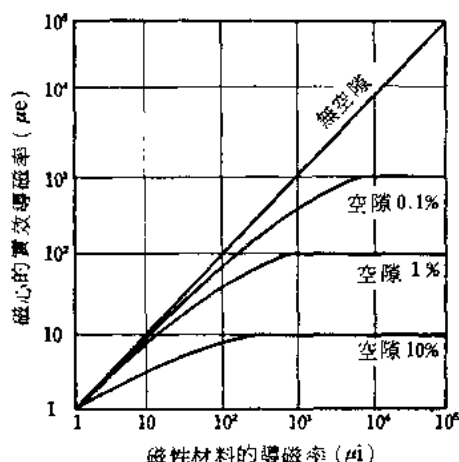


圖 1-4 磁心的空隙對實效導磁率的影响

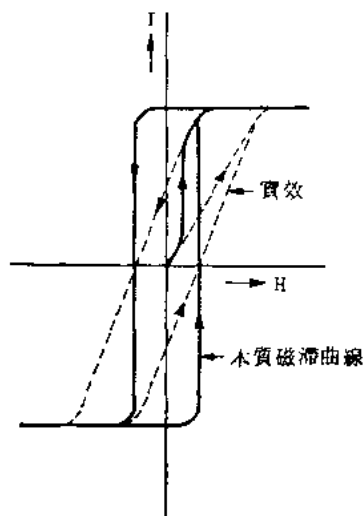


圖 1-5 磁心的實效磁滯曲線與本質的磁滯曲線

取這種實效導磁率的關係，得圖 1-4。由圖可知，磁心材料本質上的導磁率即使超出 1000，其大小並無太大的關係，結果接近 $\mu_e \approx 1/\gamma$ 值， μ_e 則幾乎由空隙的大小決定。

因此，併用本質上高導磁率材料的效果不如減少膠合劑中的絕緣部分，提高加工時的 Press 壓力提高密度，改善磁心的有效導磁率即成為首要問題。

磁心中空隙的存在可以獲得另一種益處。亦即對於廣範圍的外部磁場，導磁率值成為一定值，磁性穩定度也大幅提高。

主要原因是由於磁心中的非磁性空隙與磁性體粉末形狀，使磁滯曲線 (Hysteresis Curve) 以圖 1-5 所示方式傾斜所致。這是由自己反磁場作用所引起。至於磁場、溫度、磁性衝擊等，均受空隙的影響而減弱。

(2) 各種磁心損失電阻 高頻回路磁心材料的性能，由磁心損失電阻有較大的變化，以下詳細說明。

這種磁心損失電阻 (R_m) 與線圈有效電阻 (R) 間存在下列關係。

$$R_m = R - R_0 \quad \dots\dots\dots (1-1)$$

引起磁心損失電阻的原因有多種，但大致可以分為下列三種。

$$R = R_h + R_e + R_c \quad \dots\dots\dots (1-2)$$

R_h : 磁滯損失電阻

R_e : 渦流損失電阻

R_r : 殘餘損失電阻

在討論這種電阻受何種因素 (Factor) 的影響中，首先就磁滯損失電阻 R_h 受下列因素的影響

$$R_h = h_1 \left(\frac{L}{V} \right)^{\frac{1}{2}} I \cdot f \dots\dots\dots (1-6)$$

式中表示，

h_1 : 磁滯損失係數

V : 磁心體積 (cm^3)

I : 測定電流 (A)

由 (1-6) 式可知磁滯損失電阻，比例於頻率 f 與電流 I 。並且，磁滯損失係數 h_1 由空隙的存在使有效導磁率降低，熱處理使磁性畸變緩和而得以改善渦流損失電阻 R_e 受下列因數的影響。

$$R_e = e_1 f^2 \dots\dots\dots (1-7)$$

式中表示，

e_1 : 渦流損失係數

此種渦流損失係數 e_1 ，在假設磁性體粒子為球形時，具備下列種種因素。

$$e_1 = \frac{\pi^2 d^3 \mu}{5 \rho p^{\frac{1}{3}}} \dots\dots\dots (1-8)$$

式中表示，

d : 粒子直徑 (cm)

ρ : 粒子電阻率 ($\Omega \cdot \text{cm}$)

p : 粒子的體積佔有率

渦流損失電阻，隨頻率的二乘方比例增加。到了高頻範圍，這種損失顯然增加，到達磁心損失電阻的大約一半以上值。而且這種損失值，由 (1-8) 式可知，受粒子的尺寸與特性的影響。

為求減小損失係數 e_1 ，必須將粒徑縮小，電阻以及體積佔有率增大。尤其是粒徑的三乘方成比例的問題均值得加以注意。由於磁性體粒子絕緣處理的困難性，成形、熱處理過程中絕緣皮膜的破壞防止等問題的存在，無法要求某值以上。

做為優異的壓粉磁心材料，頻率愈高愈要求將高電阻率的微粒子，以極高密度成形。

殘餘損失電阻 R_c 。係將磁滯損失電阻以及渦流損失電阻以外的損失電阻總合稱呼，可以下式表示。

$$R_c = c_1 f \dots\dots\dots (1-9)$$

式中表示，

c_1 ：殘餘損失係數

此種殘餘損失的機構極其複雜，目前仍然未能完全明瞭。

如欲設計高 Q 值的線圈，必須瞭解這種損失電阻的影響。 Q 值對於磁滯損失與殘餘損失的影響，不受頻率的作用，而磁滯損失與殘餘損失的影響，則與磁心不存在任何關係。渦流損失隨頻率值上昇而增加，線圈的直流電阻則與磁心尺寸相關連。

1-2-2 單磁區微粒子理論

(1)不具備磁壁的粒子群 如果，在小磁場中引起磁化變化的磁壁被放逐而使粒子全部形成單一磁區時，對於異方性的抗拒作用使磁子的磁化向量迴轉，並且又由於逆磁區的核生成與成長作用，產生了高度保磁力的可能性。

將強磁性體製成非常小的粒子時，比例面積的磁壁能量與比例體積的靜磁能量不再保持平衡狀態，在某一臨界尺寸以下成為單磁區粒子。這種臨界尺寸，鐵是 $100 \text{ \AA}$ ，銀鐵合金 (Barrium Ferrite) 大約是 1μ 程度，但是實際上形成單磁區動作的尺寸界限略高於前述值。

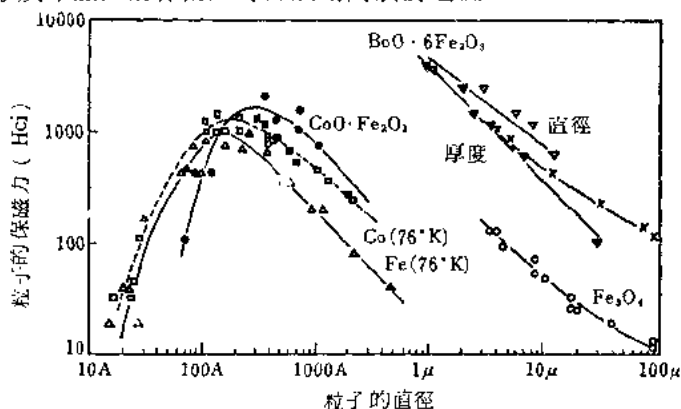


圖 1-6 微粒子的直徑與保磁力的關係 (依據 Luborsky)