

一個鈷晶體的各向異磁性

潘孝碩 陳慧男*

(中國科學院應用物理研究所)

THE MAGNETIC ANISOTROPY OF A COBALT CRYSTAL

PAN SHIAO-THUR and CHEN HWEI-NAN

(Institute of Applied Physics, Academia Sinica)

鈷在 400°C 上下有一個相變；在低溫的穩定相是六角密集的，在高溫的穩定相是面心立方的。這個相變的詳細程序常跟樣品的狀態，例如粉末、多晶體或單晶體而變化，所以它曾是不少研究工作的對象。不過在以往的工作中似乎沒有見過兩種相同時存在於一個在室溫下的“單晶體”內的情況。最近我們測量了一個鈷單晶體在不同溫度下的各向異磁性而發現了一些新的現象。這些現象證明：這個晶體雖然在室溫下還宏觀地保持着立方的結構，但在相當大的溫度範圍內其實是兩個相的混合體。

這個單晶體還是抗戰以前施汝為先生在把電解鈷在真空中熔解時偶然得到的。據分析，所用電解鈷的純度優於 99.4%，而大部分雜質是鐵、錳和硫。晶體原來約佔 $1\frac{1}{2}\text{ cm} \times 1\frac{1}{2}\text{ cm}$ 直徑的熔錠的五分之四。用濃硝酸把晶體侵蝕後，蝕痕反射顯示出三個 {100} 型的晶面，表示晶體具有立方對稱性。我們從這個晶體切磨出兩個 6 mm 直徑 $\times$ 0.6 mm 厚的圓片，作為測量磁轉矩的試品；其中一個的平面平行於 (100)，另一個的平面平行於 (110)。在切磨過程中仍用光學測角計觀察蝕痕反射的方法逐次校準；這樣，磨出的 (100) 和 (110) 面的誤差可以小於 2° 。

在測量磁性以前我們也從這兩個試品攝取了勞厄照片 (X 射線與試品面垂直)。這些照片雖然顯示受過冷加工的晶體的不完整性，但在有些方面却也與從

*長春東北人民大學物理系助教，曾在應用物理研究所進修。

部分地脫溶了的 Al-Ag 單晶體^[1] 所得的勞厄照片相像。在這種合金的脫溶過程中，富於 Ag 的六角密集相在面心立方的過飽和固溶體的 {111} 面上逐漸形成，而這樣的過程正是與鈷的相變過程相像的。因此我們推測這些鈷試品中已有一些六角密集相以薄片的形態存在。從下述的結果看來，這部分六角密集相大概並不是由於切磨的冷加工而產生的。

測量各向異磁性的儀器的主要部分是一個 Weiss 型電磁體和一個轉矩磁強計，後者的構造和設計大體上與 Шубина^[2] 所用的相同。下面只先報告從經過兩次升溫和降溫的循環而基本上同至原來狀態的 (110) 試品所得的結果。(100) 試品似乎在第二次升溫中起了結構上的變化，所以我們還擬對它作一些仔細的觀測；待肯定了這個變化的性質後續行報告。

圖 1 (圖中縱軸上每一單位相當於 2.36×10^4 爾格/厘米³，以下圖 2，圖 3 和圖 4 同此。又圖中曲線的測量從 $[1\bar{1}0]$ 開始，通過 $[001]$ 而終於 $[\bar{1}10]$ 的；現仍按這次序繪出。這是因為磁場不夠強時試品的轉動磁滯很大，曲線

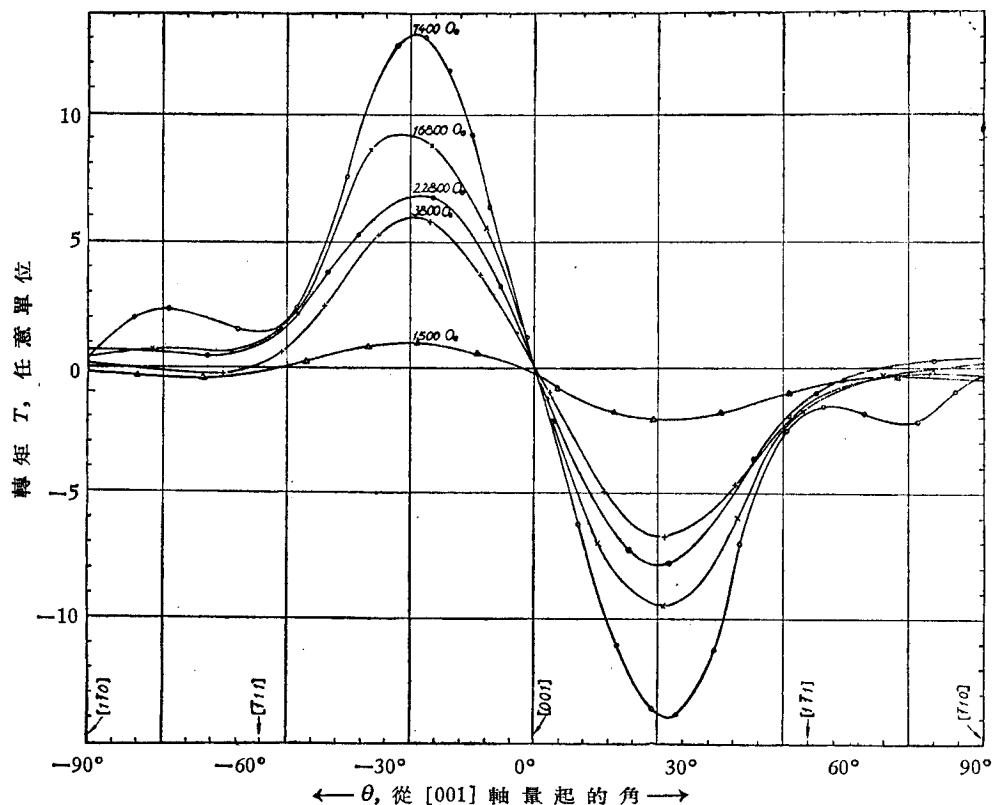


圖 1. 室溫下 (110) 試品在不同磁場強度的磁轉矩曲線

的靠近橫軸部分不能準確地測出，如按下面三圖的方向次序繪出，好些曲線在 $[1\bar{1}0]$ 前後的兩部分就不能連接了。) 示試品在沒有經過溫度變化以前的磁轉矩曲線。這些曲線顯示，晶體的各向異磁性先是隨磁場的增強而增大的，在 6000 至 7000 奧斯特間達到最大值；過此以後，磁場的繼續增強反而使磁轉矩減小，到磁場超過 20000 奧斯特時還沒有完全達到穩恆值。圓片形的單晶試品通常總需要 5000 奧斯特以上的磁場才能磁化到近於飽和，所以在磁場沒有到這樣的強度時試品的磁轉矩隨着磁場的增強而增大，到磁化強度接近於飽和時磁轉矩也接近一極限值；這是常見的現象。但是，磁轉矩達到最大值後重複下降則不是一個均勻的（單相的）單晶體所應有的特性。

Nesbitt, Williams 和 Bozorth^[3] 新近曾在部分地脫溶了的 Fe_2NiAl 單晶體上觀察到類似的現象。在這種合金的場合，脫溶所產生的兩個相近於純鐵和 NiAl ，後者是非鐵磁性的。這兩種相以交互相間的薄片出現，而薄片的面與原單晶體的 (100) 面平行。Nesbitt 等用磁性薄片的“形狀各向異磁性”來解釋磁轉矩隨磁場的增強而減小、最後甚至變了號的現象，並用超巨姆齊的細絲製的模型證明了形狀各相異磁性可以導致這種現象。

同樣的解釋似乎也可以應用於這裏的鈷晶體。不過這裏的情形要比較複雜一些。第一，面心立方鈷和六角密集鈷的飽和磁化強度相差很少，不過 1.5%^[4]；這可以使形狀各向異磁性大大地減弱，雖然後者也隨着薄片的線度比而改變。第二，六角密集鈷的“自然各向異磁性”（晶性的）是很強的，並且它的對稱性與細棍形樣品的形狀各向異磁性的相像。所以，如果有兩個六角密集鈷的單晶體，以它們的易磁化軸（ $[0001]$ 軸）相交於一定的角而組成一整個樣品，光是晶體的自然各相異磁性就足以導致整個樣品的磁轉矩隨磁場的增強而減小的現象。又六角密集鈷的薄片在面心立方鈷單晶體內形成時，薄片的平面差不多平行於 (111) 晶面；任意兩組薄片並不相交於直角。因此，不管這裏隨磁場的增強而減小的一部分各向異磁性是由於薄片的形狀各向異磁性還是由於六角密集鈷的自然各向異磁性，它總與 Fe_2NiAl 單晶內的薄片的形狀各向異磁性不同，並不隨磁場的趨於無窮大而趨於零。第三，面心立方鈷的自然各向異磁性雖然比六角密集鈷的小，但也並不小到可以略去。由於這些複雜的情形，本問題的較確切的解釋還有待於深入一步的研究。但磁轉矩隨磁場的增強而減小總表示這個晶體在室溫下並不是單相的；而從兩種相的飽和磁化強度的微小差別看，則我們傾向

於判斷試品的各向異磁性的大部分是由於自然各向異磁性的。

在測畢圖 1 的曲線以後，我們就逐步提高試品的溫度，測量它在不同溫度時的磁轉矩曲線；約從 200°C 至 600°C 的一段，溫度的提升是突然的，溫度高至約 900°C 時各向異磁性幾乎完全消失了，於是再逐步把溫度降低，仍在各溫度測量磁轉矩曲線，直至室溫而止。這樣的測量曾重複一遍。結果證明：在 500°C 以上試品的磁轉矩只隨磁場的增強而增大，至 6000 奧斯特時已達到飽和了。同時這些轉矩曲線也是可逆的，即不論在升溫或降溫過程中在同一溫度所測得的曲線的小差別可以用實驗誤差來解釋。因此可以斷定，在 500°C 以上時，試品完全是在面心立方的狀態了。

圖 2 示在第二次降溫過程中所測得的高溫轉矩曲線（圖 2 中所示的一組曲線並不是每條都測全的）。這些曲線的形狀顯然都近於正規的（110）面的曲線的；圖中的虛線就是一條用作比較的（110）面的理論曲線（因這些曲線都顯示 [001] 軸為難磁化軸，故設第一各向異磁性常數 K_1 是負的，第二各向異磁性常數 K_2 為零）。把這些實驗曲線和（110）面磁轉矩曲線的理論式比較時，我們發現一般地應以假設 $K_2=0$ 為宜。用這樣的比較方法我們可以從上述的四組測量數據繪製第一各向異磁性常數 K_1 對溫度的平均曲線。所得結果與新近 Sucksmith 和 Thompson^[5] 所得的結果相比時，在 600°C 以上的符合在 10% 以內；在 600°C 以下則我們的 K_1 值的溫度變化較慢。恰在 600°C 時， $K_1=1.02 \times 10^5$ 爾格/厘米³。不過 Sucksmith 和 Thompson 所用的方法是從三個單晶體測定 $\langle 100 \rangle$ 、 $\langle 110 \rangle$ 、 $\langle 111 \rangle$ 軸向的磁化曲線，從而計算 K_1 。用這種方法測定的 K_1 值與從磁轉矩曲線定得的 K_1 值常有相當大的差別；並且在他們的結果中 K_2 不等於零。所以就是高溫數值的符合多少是偶然的。

圖 3 所示可以說是試品在冷至相變開始的溫度以下的轉矩曲線。圖中 390°C 和 375°C 兩條曲線還保持着（110）曲線的形狀並且也幾乎不受磁場強度的影響，但曲線的“幅”則隨溫度而下降得很快。其餘的曲線的幅都隨磁場的增加而減小。從轉矩曲線隨溫度的劇烈改變我們可以斷言試品是在起着相變；但由於上述的一些困難又由於飽和磁化強度和自然各向異磁性本身都隨溫度而變，所以想從磁轉矩曲線來判斷試品的相變程度幾乎是不可能的。

試品每經過一個升溫和降溫循環後，它在室溫下的磁轉矩曲線稍有改變。圖 4 示試品在原來狀態和經過兩次溫度變化後的室溫曲線。從趨勢看，似乎多經

過幾次溫度變化循環後，曲線是能够穩定下來的。

施汝爲先生把保藏近二十年的鈷晶體給我們作實驗，並且在工作進行中不斷予以關注；錢臨照和何壽安兩先生給我們攝了上面提到的勞厄照片；對這三位先生我們都致以深深的謝意。

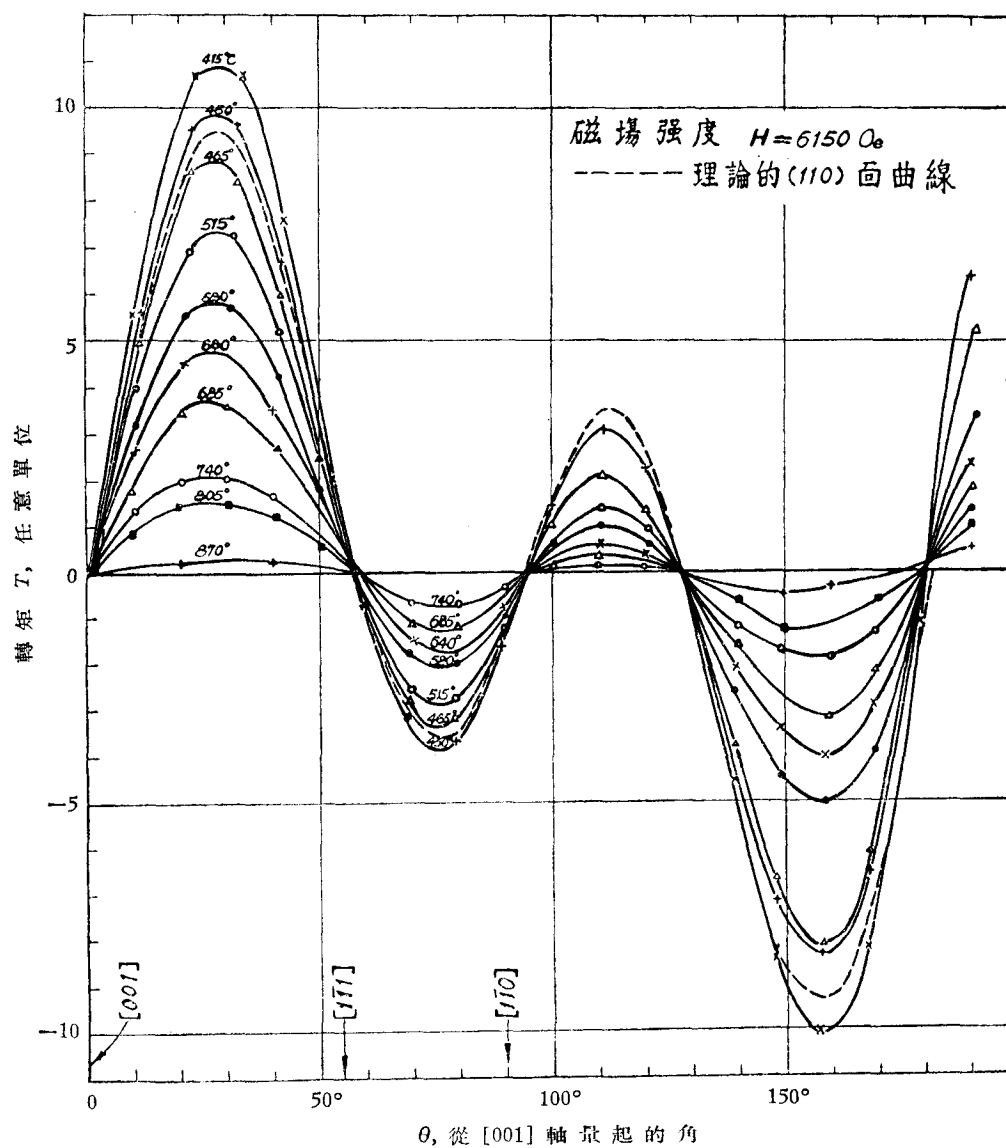


圖 2. 溫度第二次下降時 (110) 試品在 400°C 以上的磁轉矩曲線

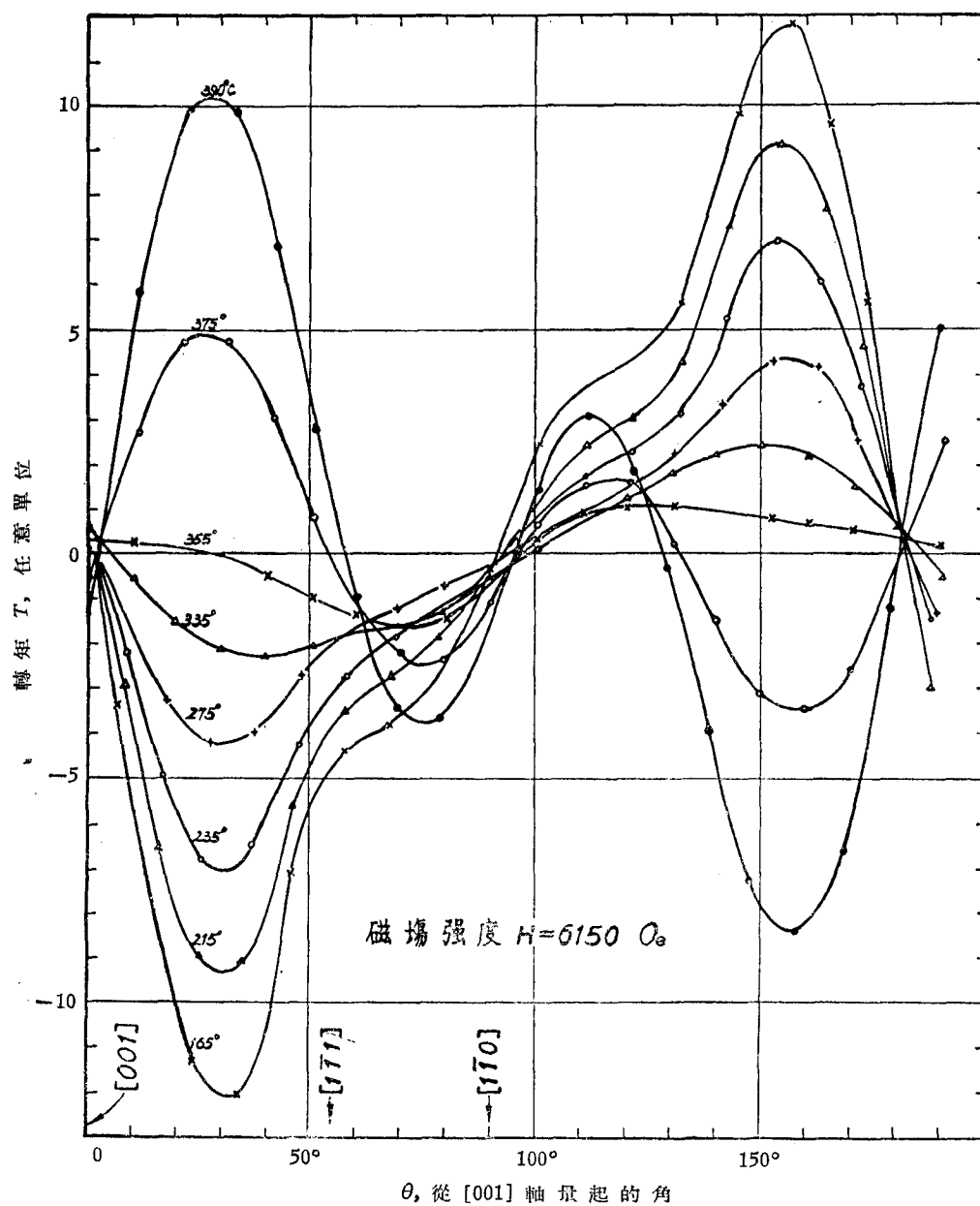


圖 3. 溫度第二次下降時 (110) 試品在 400°C 以下的磁轉矩曲線

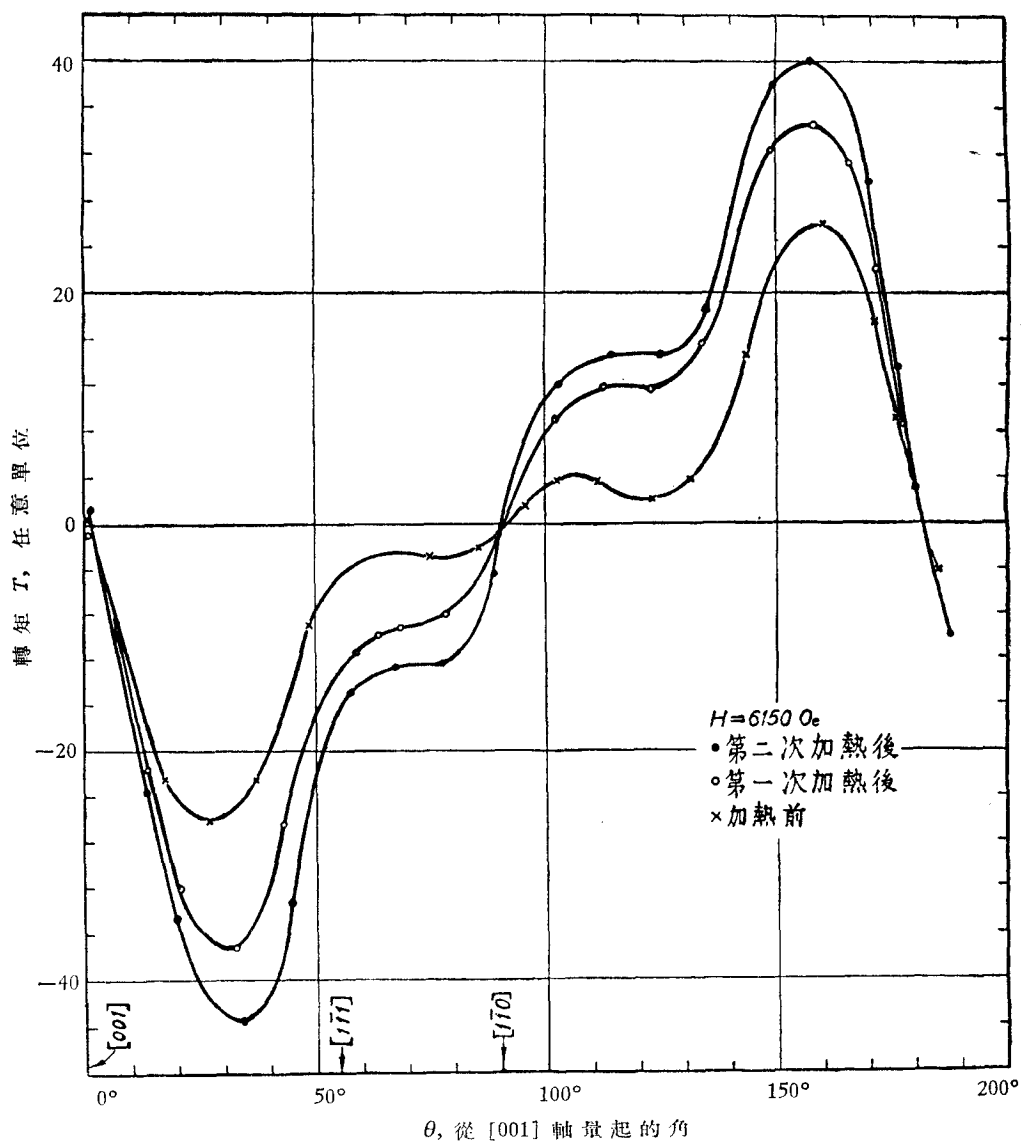


圖 4. (110) 試品經各次升溫和降溫的循環後在室溫測定的磁轉矩曲線

參 考 文 獻

- [1] Barrett, C. S. and Geisler, A.H., *J. Appl. Physics*, **11**, (1940), 733.
- [2] Шубина, Л. А., *Изв. АН СССР, Серия Физич.*, **11**, (1947), 527.
- [3] Nesbitt, E. A., Williams, H. J., and Bozorth, R. M., *J. Appl. Physics*, **25**, (1954), 1014.
- [4] Myers, H. P. and Sucksmith, W., *Proc. Roy. Soc., London*, **A 207** (1951), 427.
- [5] Sucksmith, W. and Thompson, J. E., *Proc. Roy. Soc., London*, **A 225**, (1954), 362.

