

熱性磁氣合金に依る水平分力變化計の溫度補整

B. M. Janowsky

Temperature-Compensation of the Unifilar by Means of Thermalloy.

Terr. Mag. 43 (1938), 143-147.

1. 理論的考察

單線吊水平分力變化計の平衡方程式は一般に

$$MH \sin \theta = C \phi \dots\dots\dots (1)$$

で、固より H は地球磁場の水平分力、 M は磁石の磁氣能率、 θ は磁軸と磁氣子午線との夾角、 ϕ は吊糸の捩れの角、そして C は所謂捩れの常數を表はす。

溫度の昇降に伴ひ磁氣能率及び捩れの常數は何れも變化する。従つて平衡も亦動搖して磁石は元の位置から $\Delta\theta$ 丈偏倚する。(1) 式の微分を求むれば

$$MH \cos \theta \cdot \Delta\theta + H \sin \theta \cdot \frac{dM}{dt} \cdot \Delta t = -C \cdot \Delta\theta + \phi \cdot \frac{dC}{dt} \cdot \Delta t,$$

之に (1) 式から ϕ の値を代入すれば

$$\Delta\theta = MH \sin \theta \left(\frac{1}{C} \frac{dC}{dt} - \frac{1}{M} \frac{dM}{dt} \right) \Delta t / (MH \cos \theta + C).$$

然るに自記紙上の偏倚 Δn は、之と磁石の鏡面との距離を R とすれば、 $\Delta n = 2R \cdot \Delta\theta$ なるが故に

$$\Delta n = [2RM \sin \theta / (MH \cos \theta + C)] H \left(\frac{1}{C} \frac{dC}{dt} - \frac{1}{M} \frac{dM}{dt} \right) \Delta t.$$

茲に $2RM \sin \theta / (MH \cos \theta + C)$ は感度で、磁場の強さが單位の力の時の偏倚に相當し、今 ϵ_H を寸法値とすれば、是れは $\frac{1}{\epsilon_H}$ で表はされる。然らば

$$\Delta n = \frac{H}{\epsilon_H} \left(\frac{1}{C} \frac{dC}{dt} - \frac{1}{M} \frac{dM}{dt} \right) \Delta t. \dots\dots\dots (2)$$

偏倚 Δn が溫度と無關係なる爲には Δt の係數、此處では括弧内の項が零とならなければならぬ。然し乍ら磁石の溫度係數 $\frac{1}{M} \frac{dM}{dt}$ は常に負數であるから却々さうは行かぬ。斯様な事情で溫度補整には普通溫度の變化に應じ別個に廻轉能率を生ずるやう、補助磁石或は機械的考案を利用せねばならぬ。

偕て強磁性新合金 thermalloy 或は calmalloy 板を磁氣能率 M_0 なる磁石と重ね合せると、此合金板は感應に依り磁化し磁氣能率 M_1 を得る。而して全磁氣能率 M は明かに

$$M = M_0 - M_1 \dots \dots \dots (3)$$

此合金は溫度の上昇に従ひ磁化率 κ が殆ど直線的に減少し、其 Curie 點 ($\kappa=0$) は約 100°C である。斯くて溫度の上昇に従ひ磁氣能率 M_0 及び M_1 は減少し、全磁氣能率 M は條件次第で不變ともなり、又増減何れも可能である。

(3) 式を (2) 式に代入すれば

$$\Delta u = \frac{H}{\epsilon_H} \left(\frac{1}{C} \frac{dC}{dt} - \frac{1}{M} \frac{dM_0}{dt} + \frac{1}{M} \frac{dM_1}{dt} \right) \Delta t,$$

従つて溫度補整の條件式は

$$\frac{1}{C} \frac{dC}{dt} - \frac{1}{M_0} \frac{dM_0}{dt} + \frac{1}{M} \frac{dM_1}{dt} = 0. \dots \dots \dots (4)$$

茲に $\frac{1}{C} \frac{dC}{dt}$ は吊糸の溫度係數で β とし、 $\frac{1}{M_0} \frac{dM_0}{dt}$ は磁石の尖れで $-q$ とする。然らば (4) 式は

$$\beta + q - \frac{M_0}{M} + \frac{1}{M} \frac{dM_1}{dt} = 0, \quad \frac{M_0}{M} = 1.$$

$$\therefore \beta + q + \frac{1}{M} \frac{dM_1}{dt} = 0. \dots \dots \dots (5)$$

今合金板の磁化の強さを J 、其體積を v 、且磁石に依つて生じ此板に作用する磁場の平均の強さを H_a とすれば、磁氣能率 $M_1 = J_1 v = \kappa H_a v$ となる。若し此合金板の厚さを極めて薄くすれば大雑把に

$$H_a = NJ_0$$

と看做せる。 N は磁石の反磁係數で、 J_0 は其磁化の強さである。斯くて

$$M_1 = \kappa N J_0 v, \quad \frac{dM_1}{dt} = N J_0 v \frac{d\kappa}{dt} + \kappa N v \frac{dJ_0}{dt}.$$

更に磁石の體積を v_0 とすれば $J_0 = \frac{M_0}{v_0}$ となり、 $\frac{d\kappa}{dt}$ は calmalloy の磁化率の溫度係數で常に負號を採るから

$$\frac{d\kappa}{dt} = -\alpha, \quad \frac{dM_0}{dt} = -M_0 q.$$

$$\therefore \frac{dM_1}{dt} = -N \frac{v}{v_0} M_0 (\alpha + \kappa q). \dots \dots \dots (7)$$

茲に κq は α に比較して省略出来る 而して (5) 式から $\frac{dM_1}{dt}$ を代入し、 $\frac{M_0}{M} = 1$ とすれば

$$\beta + q - \alpha N \frac{v}{v_0} = 0. \dots \dots \dots (8)$$

此式では v のみが未知數で他は總べて既知量である。故に合金板の體積 v を加減して (7) 式を滿

足せしめ得る譯で、溫度補整は次式で實現出来る事になる。

$$v = \frac{\beta + q}{N\alpha} v_0. \dots\dots\dots (9)$$

此處で注意すべきは (7) 式の反磁係數 N を磁石の全長に互る平均値とすれば、calmalloy 板の長さが一定なる限り、之れは不變である事である。故に或磁石に就いて溫度補整用 calmalloy 板の體積は其長さに依り相異なるであらう。

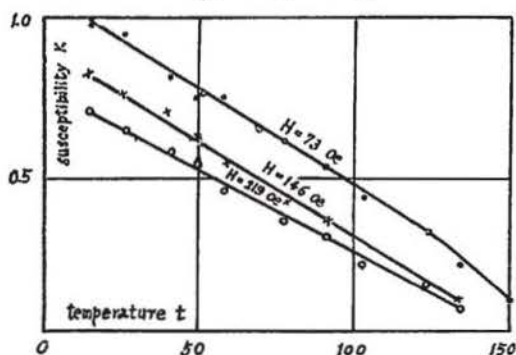
2. 熱性磁氣合金 calmalloy の性質

calmalloy の特性は外部磁場に依る感應磁氣並に透磁率が溫度の上昇と共に急激に減少する事であつて、calmalloy A に就いては約 140°C (Curie 點) に於て零になる。

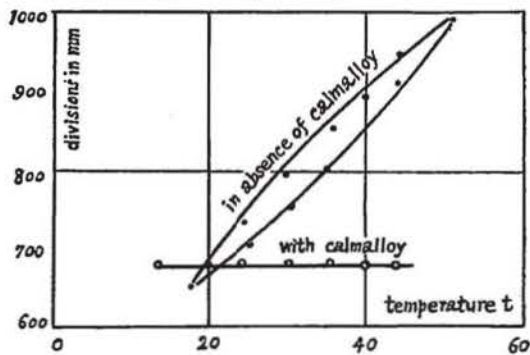
斯様な譯で此合金は過去に於ては屢、電氣工學上電氣測定器具の溫度補整に利用された。其原理は上述のものと同じで、理論的にも實際的にも寧ろ簡單である。補整すべきものが磁氣能率ではなくて磁場であり、且又磁石は棒形のものではなくて馬蹄形であつたからである。

今度使用した合金は Leningrad 度量衡局實驗室の製作で次の如き成分を有する：nickel 55.8%，銅 24.9%，鐵 15.5%，silicon 1.8%，magnese 1.2%，admixtures 0.8%。標本の形狀は角柱で $1.12 \times 1.12 \times 10 \text{ cm}^3$ 、而して其磁氣的性質も亦同所で無定位磁力計を用ひ種々の溫度に於て試験された。其結果は第 1 圖に示す通りで、即ち 3 個の相異なる磁場に於て磁化の強さ J 、磁化率 κ 及び係數 $\alpha = \left| \frac{d\kappa}{dt} \right|$ は溫度に依關し、溫度が 15° 乃至 60°C なる範圍内では是等の曲線は直線と看做して宜しい。

第 1 圖



第 2 圖



3. 實驗的檢證

此實驗に使用した磁石は nickel-aluminium 鋼で、其大いさは $2.5 \times 2.5 \times 20 \text{ mm}^3$ 、そして其溫度係數は磁力計を用ひ $q = 464 \times 10^{-9}$ を得た。之を水平分力變化計に裝置し、其溫度を 15° 乃至 60°C 間に變化せしめ、‘望遠鏡と尺度’の方法で實視觀測する事とし、寸法値測定には Helmholtz 線輪を

用ひ $\epsilon_H = 1.27 \gamma/\text{mm}$. とした. 而して磁石に calmalloy 板を取付け或は取外して種々の溫度に於て調査したのである. 其結果は第 2 圖の如くで, 縦軸に磁石の偏倚, 横軸に溫度を採つた.

calmalloy 板の大いさは高さ $a = 0.089 \text{ cm}$, 幅 $b = 0.193 \text{ cm}$, 長さ $l = 1.568 \text{ cm}$, 従つて其體積 $v = 0.0270 \text{ cc}$. となる. 斯くて溫度補整は殆ど完全と見えるが, 板の大いさは實驗的に選擇修整を要し, 實際は其大いさを小さくし乍ら溫度係數を觀測しつゝ決定したのである.

尙變化計の溫度係數 $-q_1 = -(q + \beta)$ は容易に次式で算出される. 但し n_{t_0} 及び n_t は溫度 t_0 及び t に於ける偏倚を表はす.

$$-q_1 = \frac{n_{t_0} - n_t}{t_0 - t} \cdot \frac{\epsilon_H}{H}.$$

此際平均値として $q_1 = 851 \times 10^{-6}$ を得た. 而して q の値は既知であるから, 吊糸の溫度係數 $\beta = 387 \times 10^{-6}$ となる.

實驗の結果を理論と比較するに大分開きが見受けられる. (9) 式に依れば calmalloy 板の體積は $v = 0.040 \text{ cc}$. で, 因に今の場合反磁係數は 0.412 である. 然るに實際には $v = 0.027 \text{ cc}$. となり前者の半分そこそこに過ぎない. 此開きは (9) 式が近似値しか與へず, 且又使用した磁石の大いさに基いて假定した反磁係數が, 實は更に calmalloy 板の形狀及び大いさに關する事に依り説明さるべきである. 兎もあれ理論的考察は板の體積の目安を與へるから, 之を通じて實驗的に不惑の門に入る事が出来るのである.

之を要するに著者の提出した方法は水平分力變化計の溫度係數を零にする事が出来, 在來の磁氣的・光學的將又機械的方法と異り, (i) 變化計に特別の細工を施さず其儘で事濟み, 更に (ii) 變化計を据附ける場所の磁場の大小に無關係である.