

日本金屬學會誌

E-第16卷 第3號

論 文

Co-Fe-Cr 系合金の剛性率およびその温度係数について**

増本 量* 齋藤 英夫*

Hakaru Masumoto and Hideo Saito: On the Rigidity Modulus and its Temperature Coefficient of the Alloys of Cobalt, Iron and Chromium. The mean temperature coefficient of rigidity modulus in the temperature range of 20° to 50° of the alloys of cobalt, iron and chromium containing 50 to 90 percent of cobalt and less than 20 percent of chromium has been measured by a torsion pendulum method. The temperature coefficients of most alloys are negative, while as the concentration approaches the composition of stainless invar (Co=54%, Fe=36.5%, Cr=9.5%), the coefficient diminishes, first gradually and then rapidly, becomes zero at a certain composition and then changes its sign. Then the coefficient reaches a conspicuous positive maximum ($+35.9 \times 10^{-5}$) at the concentration of stainless invar. Thus, there are various alloys having zero coefficient which are called Co-elinvar. These results are almost similar to the case of the temperature coefficient of Young's modulus measured previously by the present investigators, except that in the case of the rigidity modulus, the range showing positive coefficient and the positive maximum is located in the concentrations of more cobalt and less chromium than in the case of Young's modulus.

Further, the rigidity modulus at 20° of the alloys has also been determined with the result that the modulus shows a maximum value ($9.34 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$), in the alloy containing 50 percent of cobalt and 5 percent of chromium and a minimum ($5.92 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$) in that containing 65 percent of cobalt and 8 percent of chromium.

(Received October 31, 1951)

I. 緒 言

さきに著者等はその一人⁽¹⁾の Invar (Fe=64%, Ni=36%) に関する法則に基いて実験した結果, Co-Fe-Cr 系合金にはヤング弾性率の温度係数の正なる範囲と負なる範囲が存在することを発見し, そしてこれ等の合金の中その温度係数の極めて小さいものをコエリンバー (Co-elinvar) と名付けた⁽²⁾.

最近, コエリンバーを地震計, 發條秤, その他の計器の發條材料として使用しようとする要望がたかまり, コエリンバーの剛性率の温度係数を知る必要を生じた. よつて著者等は細い線を用い振り振子法によつて Co-Fe-Cr 系合金の剛性率の温度係数を測定した.

II. 試料並に測定方法

著者等が先にヤング率およびその温度係数の測定⁽²⁾に用

* 東北大學金屬材料研究所

** 1949年10月本會名古屋大會に發表

(1) 増本, 東北大理科報告, 20 (1931), 101; 金屬の研究, 8 (1931), 237.

(2) 増本, 齋藤, 本誌, 6 (1942), 122; 8 (1944), 513; 東北大研究所報告, A-1 (1949), 17.

いた試料を取つた合金鍛造物から別に冷間線引によつて, 直径約 0.5 mm の線を作り, これ等を真空電気爐によつて 1000° で1時間加熱した後爐中で冷却して試料として用いた. 合金の組成は Table 1 に示す通りである.

剛性率の測定は通常の振り振子法⁽³⁾によつて行つた. その装置の概略は Fig. 1 に示してある. 圖に見る如く約 15 cm の有効長を有する試料の上端を石英管を通じて堅固な臺に固定する. またその下端には他の石英管を通じて純 Cu 製の廻轉錘を吊す. 錘の全重量は 688.4 g で, その慣性性能率は $10370 \text{ g} \cdot \text{cm}^2$ である. 錘の圓板部にはその一直徑上の對照の位置にセンダストの小片が埋め込んであり, 圓板部の中心を通る水平線上に装置した二つの小電磁石によつて, 外部から振り振動を勵起し得るようにしてある.

試料は透明石英管で圍まれ, その外部に無誘導電気爐を置いて, 試料の温度をかえる. 爐の温度分布は試料の全長にわたり 1° 以下の差異を示す. なお試料の温度はクロメル-アルメル熱電對によつて測つた.

(3) P. Chevenard, Trav. et Mém. du Bur. Int. des Poids et Mesures, 17 (1927), 44.

測定に當つては振れの最大角を1°以下とし、測定温度毎に1000回の振動の時間を秒時計によつて測つた。秒時

Table 1 Composition of Alloys and Results of Measurement.

| Composition (%) | | | G (kg/cm^2) | α ($20\sim 60^\circ$) | g ($20\sim 50^\circ$) |
|-----------------|------|-----|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Co | Fe | Cr | | | |
| 60 | 40 | 0 | 7.00×10^{-5} | 9.6×10^{-6} | -18.9×10^{-5} |
| 65 | 35 | 0 | 7.66 | 9.6 | -23.0 |
| 75 | 25 | 0 | 7.19 | 10.5 | -34.3 |
| 80 | 20 | 0 | 6.71 | 11.7 | -37.0 |
| 90 | 10 | 0 | 6.52 | 11.7 | -22.2 |
| 50 | 45 | 5 | 9.34 | 9.3 | -22.1 |
| 55 | 40 | 5 | 9.09 | 9.5 | -25.7 |
| 65 | 30 | 5 | 7.01 | 9.6 | -29.8 |
| 70 | 25 | 5 | 6.48 | 9.7 | -33.7 |
| 75 | 20 | 5 | 6.67 | 10.7 | -33.4 |
| 80 | 15 | 5 | 6.77 | 10.5 | -39.3 |
| 85 | 10 | 5 | 7.58 | 11.4 | -39.2 |
| 55 | 37 | 8 | 7.28 | 6.0 | +23.4 |
| 57 | 35 | 8 | 7.20 | 3.1 | +17.9 |
| 60 | 32 | 8 | 6.55 | 6.6 | -2.5 |
| 65 | 27 | 8 | 5.92 | 8.0 | -17.5 |
| 54 | 36.5 | 9.5 | 7.35 | 0.1 | +35.9 |
| 50 | 40 | 10 | 7.03 | 12.0 | -44.8 |
| 51.5 | 38.5 | 10 | 7.70 | 8.7 | -31.5 |
| 53 | 37 | 10 | 7.66 | 0.2 | +11.4 |
| 55 | 35 | 10 | 7.24 | 1.4 | +28.9 |
| 57 | 33 | 10 | 6.98 | 3.8 | +17.6 |
| 57.5 | 32.5 | 10 | 6.94 | 3.5 | +10.1 |
| 58.5 | 31.5 | 10 | 7.11 | 5.4 | +5.1 |
| 60 | 30 | 10 | 7.04 | 5.1 | -0.2 |
| 65 | 25 | 10 | 6.97 | 7.5 | -17.2 |
| 70 | 20 | 10 | 7.14 | 8.8 | -26.1 |
| 75 | 15 | 10 | 7.34 | 9.5 | -28.9 |
| 80 | 10 | 10 | 7.53 | 13.5 | -31.9 |
| 51 | 37 | 12 | 8.41 | 13.1 | -42.9 |
| 55 | 33 | 12 | 8.30 | 12.0 | -23.0 |
| 57 | 31 | 12 | 8.09 | 6.0 | +6.5 |
| 58.5 | 29.5 | 12 | 7.74 | 6.0 | +1.0 |
| 60 | 28 | 12 | 7.44 | 7.6 | -4.3 |
| 63 | 25 | 12 | 7.39 | 7.8 | -12.3 |
| 65 | 23 | 12 | 7.78 | 8.0 | -16.0 |
| 50 | 35 | 15 | 8.57 | 16.0 | -49.8 |
| 52.5 | 32.5 | 15 | 8.31 | 15.6 | -42.7 |
| 55 | 30 | 15 | 8.42 | 15.4 | -34.8 |
| 60 | 25 | 15 | 8.16 | 14.0 | -0.9 |
| 65 | 20 | 15 | 8.09 | 9.5 | -37.1 |
| 70 | 15 | 15 | 8.21 | 10.2 | -37.0 |
| 50 | 30 | 20 | 9.12 | 16.3 | -45.4 |
| 60 | 20 | 20 | 8.75 | 14.8 | -44.7 |

の剛性率の温度係数を求めた。温度係数を計算するには、合金の熱膨脹係数を知る必要があるが、これには著者の一人(4)が以前行つた測定結果を利用した。

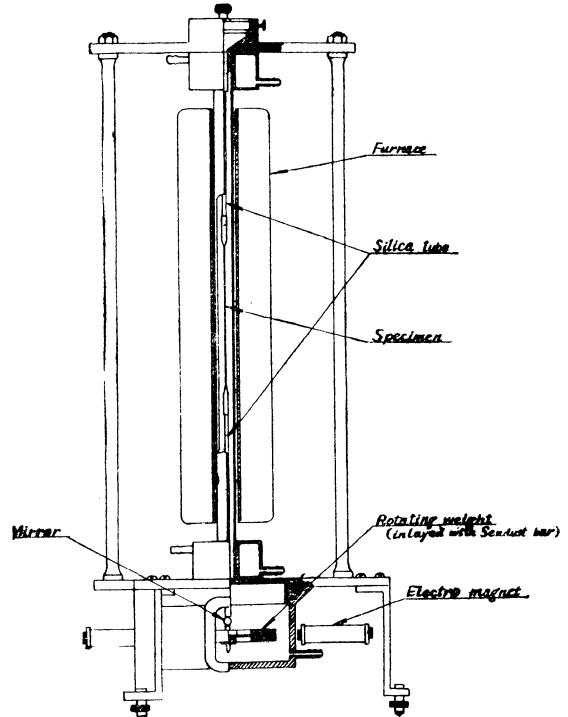


Fig. 1 Measuring Apparatus.

III. 測定結果

測定結果は Table 1 に纏めてある。表中 G は剛性率、 α は著者の一人(4)が以前測定した線膨脹係数、また g は剛性率の温度係数である。

剛性率と濃度との関係を立體圖で表わすと Fig. 2 (a) の如くになり、それ等剛性率曲線を濃度三角面に投射すると Fig. 2 (b) の如くなる。次に剛性率の温度係数について同じように立體圖と投射圖を作るとそれぞれ Fig. 3 (a) および (b) の如くなる。以下各測定結果につき簡単に説明しよう。

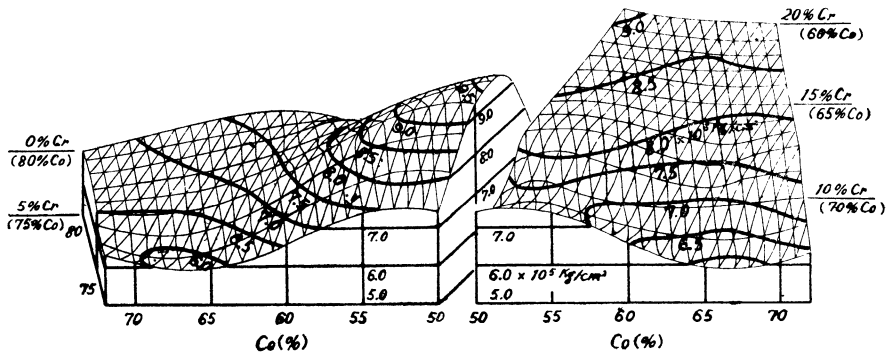


Fig. 2(a) Space-diagram Showing the Relation between the Rigidity Modulus and the Concentration of Co-Fe-Cr Alloys.

計は恒温槽に入れ、その温度を常に30°に保つた。かやうにして20°における剛性率と20~50°の範囲における平均

(4) 増本, 東北大理科報告, 23 (1934), 265; 本誌, 2 (1938), 141.

1. 剛性率

Figs. 2(a) および(b)に見る如く測定範囲における剛性率の値は Co-Fe 二元系におけるCo 約 87% の濃度から, Co 約 65% および Cr 約 8% の濃度を経て Co 50%,

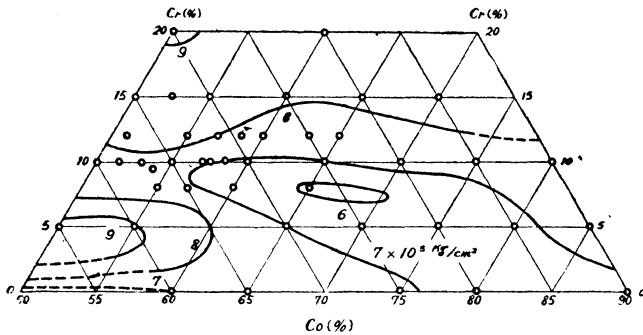


Fig. 2 (b) Projection-Diagram of the Isoridity-Modulus of Co-Fe-Cr Alloys.

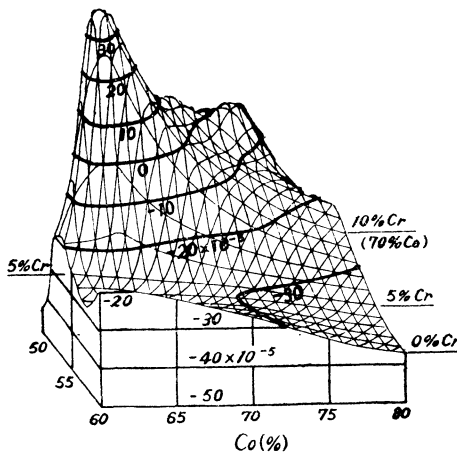


Fig. 3 (a) Space-Diagram Showing the Relation between the Temperature Coefficient of the Rigidity Modulus and the Concentration of Co-Fe-Cr Alloys.

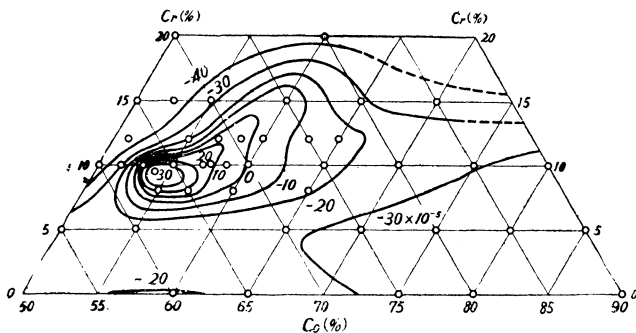


Fig. 3 (b) Projection-Diagram of the Isotemperature-Coefficient of the Rigidity Modulus of Co-Fe-Cr Alloys.

Cr 約 9% の方向に向う一つの谷を示し, この谷を境として Co 含有量の多い側と少い側とにそれぞれ一つの山を示す. しかしその測定値の中最小のものは 65% Co, 27% Fe および 8% Cr の合金における $5.92 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ で,

最大の値は 50% Co, 45% Fe および 5% Cr 合金における $9.34 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ である.

以上の結果をヤング率の測定結果⁽²⁾と比較すると, 両者は定性的に全く類似している. すなわち剛性率の場合にもその値は不銹不変鋼(Co=54%, Fe=36.5%, Cr=9.5%) 附近の組成において著しく小さい. たゞ多少異なるのは最小値の位置が剛性率の場合には幾分 Co の多い側にずれていることである.

2. 剛性率の温度係数

Figs. 3(a) および (b) に見る如く, 測定範囲における剛性率の温度係数は一般に負で大體普通の程度の大さを示すが, 合金の組成が不銹不変鋼のそれに近づくに従い, その絶対値は始め徐々に, 後急に小となり, 遂に 0 となる. 次で正值に轉じ急激に大となり, 不銹不変鋼の組成, すなわち 54% Co, 36.5% Fe および 9.5% Cr の組成において $+35.9 \times 10^{-5}$ という大なる正の最大値に達する. すなわち剛性率の温度係数は熱膨張係数が極小を示す組成において著しい正の極大を示す.

以上の結果はヤング弾性率の温度係数の測定結果⁽²⁾と定性的には大差がない. たゞ多少異なる點はその正值を示す濃度範囲および正の最大値の組成がヤング弾性率の場合よりも幾分 Co の多い, Cr の少い側にずれていることで

Table 2 Some Examples of Co-elinvar.

| Composition (%) | | | $e^{(2)}$ (0~50°) | g (20~50°) |
|-----------------|------|----|-----------------------|------------------------|
| Co | Fe | Cr | | |
| 57 | 35 | 8 | $+1.7 \times 10^{-5}$ | $+17.9 \times 10^{-6}$ |
| 60 | 32 | 8 | -12.4 | -2.5 |
| 51.5 | 38.5 | 10 | -1.0 | -31.5 |
| 57.5 | 32.5 | 10 | +1.2 | +10.1 |
| 60 | 30 | 10 | -15.5 | -0.2 |
| 58.5 | 29.5 | 12 | +4.4 | +1.0 |
| 60 | 28 | 12 | -2.4 | -4.3 |
| 60 | 25 | 15 | -19.6 | -0.9 |

ある. この差異は前述の如く剛性率の場合にもあらわれるが, これはヤング弾性率の測定の場合には直径約 3 mm の線を用い, また剛性率の場合には 0.5 mm の線を用いたために両者における織細状組織の差異に歸因するものと考えられる.

さて上述の如く Co-Fe-Cr 系には剛性率の正, 負の温度係数を有する合金が存在するので, 當然その間においては剛性率の温度係数が 0 である合金が存在する理である. 今測定せる合金の中, 比較的温度係数の小なるものを, ヤング弾性率の温度係数の小なるもの

とともに纏めて見ると Table 2 の如くなる. 表中 e はヤング弾性率の温度係数を示す. これ等の合金はいわゆるコエリンバー (Co-elinvar) であり, 時計, 計器などのヒゲゼンマイ, 地震計, 發條秤などの發條その他一般計器用材

料として非常に好適である。

なお著者等は Ni 添加の影響ならびに加工あるいは熱処理による温度係数の変化についても測定を行つているが、その結果については近く本誌に発表する豫定である。

V. 總 括

上述の研究結果を總括すると次のようになる。

(1) 50~90% Co, 0~20% Cr を含む Co-Fe-Cr 系合金の剛性率は、65% Co, 27% Fe および 8% Cr の組成において $5.92 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ という最小値を示し、この組成を遠ざかるに従つて値は始め急に後緩かに増加する。その最大値は 50% Co, 45% Fe および 5% Cr の組成における $9.34 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ である。すなわちヤング率の場合に比べ、最小値を示す組成が幾分 Co の多い側にずれている。

(2) 剛性率の温度係数は、上述の組成範囲の大部分において負の値を示すが、合金の組成が不銹不変鋼の組成に近づくに従い、初め徐々に後急に減少し、遂には正值に變じて不銹不変鋼附近の組成 (Co=54%, Fe=36.5%, Cr=9.5%) において $+35.9 \times 10^{-5}$ という正の最大値を示す。ヤング率の温度係数の場合に比べると、正值の現われる範囲およびその最大値の位置は幾分 Co の多い Cr の少い側にずれているが、この差異は纖維狀組織の差異によるものと考えられる。

(3) 剛性率の温度係数の正、負兩値の境界においては値が全く 0 となる。これ等の組成を有する合金がいわゆるコエリンバー (Co-elinvor) である。

終りに臨み實驗中多大の御援助を頂いた手塚貞至氏、菅井富氏および瀬戸規夫氏に對し深く感謝する。なお研究費の一部は文部省科學研究費よりの支辨によるものである。