NIPPON KINZOKU GAKKAI-SI

B-Vol. 16, No. 3 March, 1952

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溫度係數について**

增本 量* 齋藤英夫*

Hakaru Masumoto and Hideo Saito: On the Rigidiy 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 ($+35.9\times10^{-5}$) 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 (9.34×10^5 kg/cm^2), in the alloy containing 50 percent of cobalt and 5 percent of chromium and a minimum (5.92×10^5 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 %) に關する法則に基いて實驗した結果, Co-Fe-Cr 系合金にはヤング彈性率の溫度係數の正なる範圍と負なる範圍が存在することを發見し, そしてこれ等の合金の中その溫度係數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溫度係數を知る必要を生じた. よつて著者等は細い線を用い捩り振子法によつて Co-Fe-Cr 系合金の剛性率の溫度係數を測定した.

II. 試料並に測定方法

著者等が先にヤング率およびその溫度係數の測定[2]に用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, 直徑約 0.5 % mm の線を作り, これ等を眞空電氣爐によつて 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捩り振子法[3]によつて行つた. その裝置の概略は Fig. 1 に示してある. 圖に見る如く約 15 cm の有效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 製の廻轉錘を吊るす. 錘の全重量は 688.4 gで, その慣性能率は 10370 g. 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裝置した二つの小電磁石によつて, 外部から捩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氣爐を置いて, 試料の溫度をかえる. 爐の溫度分布は試料の全長にわたり 1° 以下の差異を示す. なお試料の溫度はクロメルーアルメル熱電對によつて測つた.

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

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

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

測定に當つては捩れの最大角を 1° 以下とし，測定溫度毎に 1000 回の振動の時間を秒時計によつて測つた．秒時計は恒溫槽に入れ，その溫度を常に 30° に保つた．かようにして 20° における剛性率と 20～50° の範圍における平均の剛性率の溫度係數とを求めた．溫度係數を計算するには，合金の熱膨脹係數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．

Table 1 Composition of Alloys and Results of Measurement.

Composition (%) Co	Fe	Cr	G (kg/cm²)	α (20～60°)	g (20～50°)
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	−30.1
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

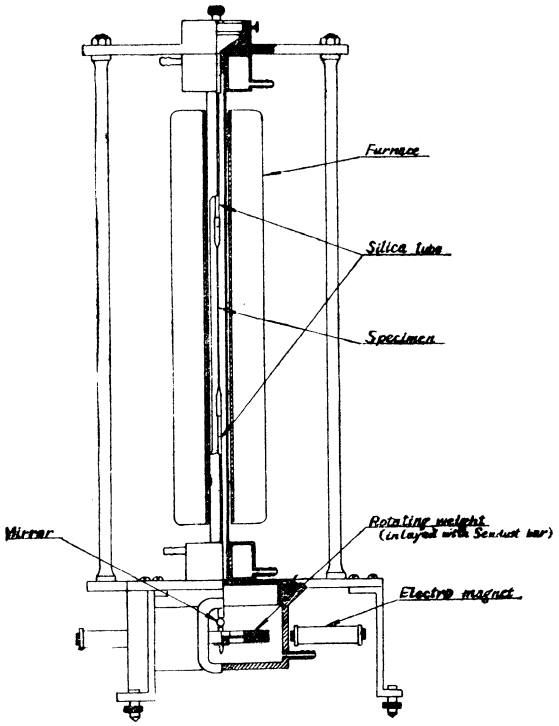


Fig. 1 Measuring Apparatus.

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數，また g は剛性率の溫度係數である．

剛性率と濃度との關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) の如くになる．次に剛性率の溫度係數について同じように立體圖と投射圖とを作るとそれぞれ Fig. 3 (a) および (b) の如くになる．以下各測定結果につき簡單に說明しよう．

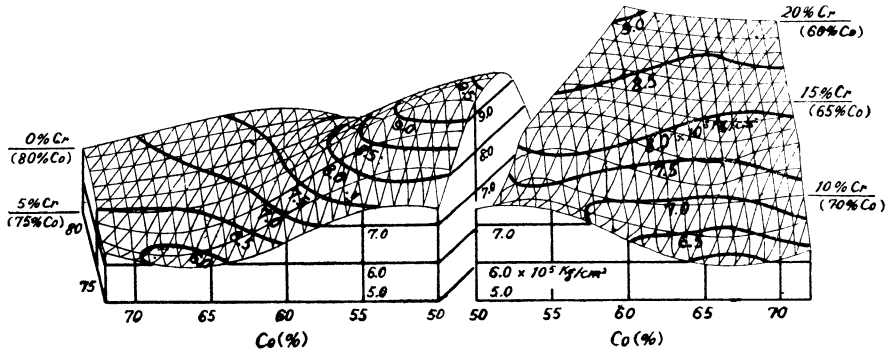


Fig. 2(a) Space-diagram Showing the Relation between the Rigidity Modulus and the Concentration of Co-Fe-Cr Alloys.

(4) 增本，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)に見る如く測定範圍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 % の濃度を經て Co 50 %，

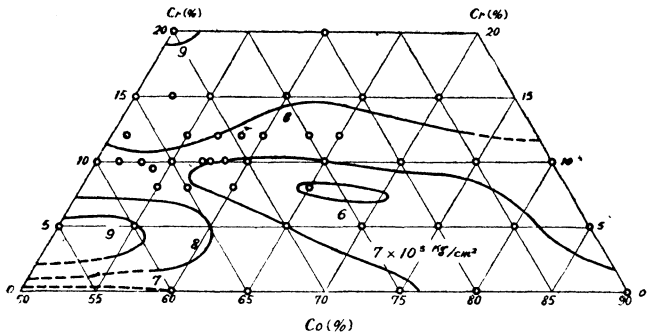


Fig. 2(b) Projection-Diagram of the Isorigidity-Modulus of Co-Fe-Cr Alloys.

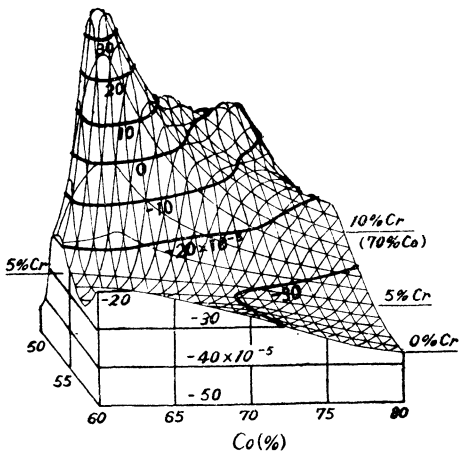


Fig. 3(a) Space-Diagram Showing the Relation between the Temperature Coefficient of the Rigidity Modulus and the Concentration of Co-Fe-Cr Alloys.

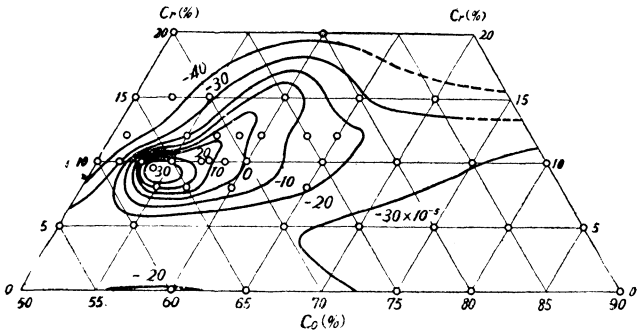


Fig. 3(b) Projection-Diagram of the Isotemperature-Coefficient of the Rigidity Modulus of Co-Fe-Cr Alloys.

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．しかして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 5.92×10^5 kg/cm² で，最大の値は 50 %Co, 45 % Fe および 5 % Cr合金における 9.34×10^5 kg/cm² 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，兩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變鋼(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. 剛性率の溫度係數

Figs. 3(a) および (b) に見る如く，測定範圍における剛性率の溫度係數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變鋼のそれに近づくに從い，その絕對値は始め徐々に，後急に小となり，遂に 0 となる．次で正値に轉じ急激に大となり，不銹不變鋼の組成，すなわち 54 % Co, 36.5 % Fe および 9.5 % Cr の組成において $+35.9\times10^{-5}$ という大なる正の最大値に達する．すなわち剛性率の溫度係數は熱膨脹係數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彈性率の溫度係數の測定結果[2]と定性的には大差がない．たゞ多少異なる點はその正値を示す濃度範圍および正の最大値の組成がヤング彈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ある．

Table 2 Some Examples of Co-elinvar.

Composition (%)			e[2] (0～50°)	g (20～50°)
Co	Fe	Cr		
57	35	8	$+1.7\times10^{-5}$	$+17.9\times10^{-5}$
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，これはヤング彈性率の測定の場合には直徑約 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兩者における纖細狀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，負の溫度係數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溫度係數が 0 である合金が存在する理である．今測定せる合金の中，比較的溫度係數の小なるものを，ヤング彈性率の溫度係數の小なるものとゝもに纏めて見ると Table 2 の如くになる．表中 e はヤング彈性率の溫度係數を示す．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處理による溫度係數の變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發表する豫定である.

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 5.92×10^5 kg/cm² という最小値を示し，この組成を遠ざかるに從つて値は始め急に後緩かに增加する. その最大値は 50 % Co, 45 % Fe および 5 % Cr の組成における 9.34×10^5 kg/cm² 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) 剛性率の溫度係數は，上述の組成範圍の大部分において負の値を示すが，合金の組成が不銹不變鋼の組成に近づくに從い，初め徐々に後急に減少し，遂には正値に變じて不銹不變鋼附近の組成 (Co=54 %, Fe=36.5 %, Cr=9.5%) において $+35.9\times10^{-5}$ という正の最大値を示す. ヤング率の溫度係數の場合に比べると，正値の現われる範圍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) 剛性率の溫度係數の正，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-elinvar) 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，菅井富氏および瀨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.