Fe-Ni-Co-Cr 系合金の熱膨脹, 剛性率およびその温度係数について (第2報) 剛性率およびその温度係数ならびにエリンバーとコエリンバーとの関係について*

増 本 量** 齋 藤 英 夫** 菅 井 富**

Hakaru Masumoto, Hideo Saitô and Yutaka Sugai: Thermal Expansion Coefficient, Rigidity Modulus and Its Temperature Coefficient of the Alloys of Iron, Nickel, Cobalt and Chromium (2). Rigidity Modulus and Its Temperature Coefficient, and the Relation between Co-elinvar and Elinvar. The influence of an addition of Chromium on the rigidity modulus and its temperature coefficient of the alloys of iron, cobalt and nickel has been determined. It has been found that, at the section of 10 per cent of chromium, there are two maximum portions of the positive value of the temperature coefficient of rigidity modulus, one of which originates in the composition of elinvar and the other from the composition of co-elinvar. These maximum portions coincide at the composition of about 14 per cent of nickel, about 35 per cent of cobalt, 10 per cent of chromium and rest of iron; showing that co-elinvar is closely connected with elinvar and the nickel and the cobalt contained in those alloys can be substituted almost linearly for each other.

(Received March 19, 1956)

I. 緒 言

著者等の二人は, 先にその一人⁽¹⁾の提唱した不變鋼に関する法則を應用して, Co-Fe-Cr 系の新恒弾性合金コエリンバーを發見し⁽²⁾, 次でこれに對する Ni の影響を研究した⁽³⁾. そして剛性率の温度係数の正の最大値を示す組成は, Ni の含有量とともに直線的に Co の少い側に移動するが, Cr 量に關しては Ni 量の少い間はその量にはほとんど關係なく経過し, Ni 量が 30 % を超えると急に Cr 量の少い方に移動すること, ならびに剛性率の温度係数の正值範圍は Ni の添加とともに次第に廣くなることを見出した. このことは Co-Fe-Cr 系のコエリンバーと Fe-Ni 系のエリンバーとの間の關係を示すものである. よつて著者等はこれを一層明らかにするために, Fe-Ni-Co 系に Cr を添加した廣い範圍の四元系について測定を行つた. 次にその結果について述べよう.

II. 試料ならびに測定方法

試料を造るにはまず第1報⁽⁴⁾における熱膨脹の測定の際用いた鍛造物の一部を冷間引拔によつて直径 0.5 mm の

** 東北大學金属材料研究所

* 1952 年 4 月本會東京大會に發表

(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; 16 (1952), 125; 東北大研究所報告, A-1 (1949), 17; A-4 (1952), 246.

(3) 増本, 齋藤, 河野, 本誌, 17 (1953), 255; 東北大研究所報告, A-6 (1954) 529; 増本, 齋藤, 菅井, 本誌, 18 (1954), 81.

(4) 増本, 齋藤, 河野, 本誌, 19 (1955), 478.

線にした. 次にこの線から適當な長さの試料を切り取り, これをさらに真空電気爐を用いて 1000° で 1 hr 焼鈍し, 常溫まで爐中冷却を施した.

剛性率およびその温度係数の測定は著者等の二人⁽²⁾が先に Co-Fe-Cr 系合金の測定の際用いた振り振子法による装置によつて行い, 20° における剛性率および 20~50° における平均の温度係数を求めた. なお剛性率の温度係数を算出するには熱膨脹係数の値を必要とするが, その値としては第1報の測定結果⁽⁴⁾を用いた.

III. 測定結果

1. 剛性率

Fe-Ni-Co 三元合金およびこれに 5~15 % の Cr を添

Fig.1 Rigidity modulus of Fe-Ni-Co alloys.

加した合金について求めた 20° における剛性率と濃度との關係を示せば Figs. 1~4 の通りである.

(1) Fe-Ni-Co 三元合金の場合

Fig. 1 に見るように, Fe-Ni-Co 三元系の Fe-Ni 側

の附近における最小値ならびに約 24 % Ni, 約 30 % Co および残余 Fe の附近における浅い極小値を経て Fe-Co

Fig. 2 Rigidity modulus of Fe-Ni-Co alloys containing 5 per cent of chromium.

Fig. 5 Temperature coefficient of rigidity modulus of Fe-Ni-Co alloys.

Fig. 3 Rigidity modulus of Fe-Ni-Co alloys containing 10 per cent of chromium.

Fig. 6 Temperature coefficient of rigidity modulus of Fe-Ni-Co alloys containing 5 per cent of chromium.

側の約 75 % Co および残余 Fe の方向に向う一つの谷を示し、この谷を境として Ni の多い側と少ない側にそれぞれ一つの山を示すが、Ni の少ない側の山は Ni の多い側の山に比べて極めて急峻である。

(2) 5 % Cr 合金の場合

5 % Cr を含む Fe-Ni-Co-Cr 系合金の場合には Fig. 2 に見るように、剛性率の谷は Cr を含まない場合 (Fig. 1) に比べて幾分 Ni の少い側に移っている。そして約 20 % Ni, 約 25 % Co, 5 % Cr および残余 Fe の附近において浅い最小値を示すが、全体として極小部分は狭くかつ浅い。なお Fig. 1 の場合と同様にこの谷の Ni 側では剛性率は Ni 量の減少とともに急に大きくなる。

(3) 10 % Cr 合金の場合

Fig. 3 に見るように、10 % Cr を含む Fe-Ni-Co-Cr

Fig. 4 Rigidity modulus of Fe-Ni-Co alloys containing 15 per cent of chromium.

においては剛性率は約 42 % Ni および残余 Fe の組成から始まって、約 32 % Ni, 約 14 % Co および残余 Fe

系合金の剛性率は約 40 % Ni, 10 % Cr および残余 Fe の組成から, 約 66 % Co, 10 % Cr および残余 Fe にお

ける剛性率の温度係数の測定結果は Figs. 5~8 に示してある。

Fig. 7 Temperature coefficient of rigidity modulus of Fe-Ni-Co-Cr alloys containing 10 per cent of chromium.

Fig. 8 Temperature coefficient of rigidity modulus of Fe-Ni-Co-Cr alloys containing 15 per cent of chromium.

ける最小値に向う谷を示す。その深さは 5 % Cr の場合と比べると一層浅くかつ廣い。この谷の Ni の少い側における山は Ni の多い側に比べて険しいが、その高さは 5 % Cr の場合よりも低い。

(4) 15 % Cr 合金の場合

15 % Cr を含む Fe-Ni-Co-Cr 系合金においては、Fig. 4 に見るように剛性率の谷は約 40 % Ni, 15 % Cr および残余 Fe の組成から約 29 % Ni, 約 20 % Co, 15 % Cr および残余 Fe の極小を経て約 65 % Co, 15 % Cr および残余 Fe の方向に向う。しかし谷は極めて廣くかつ浅い。

2. 剛性率の温度係数

0~15 % Cr を含む Fe-Ni-Co-Cr 系合金の 20~50°

(1) Fe-Ni-Co 三元合金の場合

Fig. 5 に見るように、剛性率の温度係数は三元合金の大部分において普通の程度の負値を示すが、Fe-Ni 側においては熱膨張係数の極小を示す組成⁽⁴⁾の附近、すなわち約 34 % Ni の濃度において正の極大値を示す。いわゆるエリンバーはこの極大の存在によつて現われるものである⁽⁵⁾。これに Co が加わるとこの正の極大値を示す組成は次第に Ni の少い側に移つて大となり、約 33 % Ni, 約 6 % Co および残余 Fe の組成、すなわち超不変鋼⁽¹⁾の組成の附近において最大値に達する。さらに Co 含有量が増加すると正の極大値は次第に低くなり、約 28 % Ni, 約 23 % Co および残余 Fe の組成附近において零となる。その後温度係数は負値變り、負の極小は約 23 % Ni, 約 32 % Co および残余 Fe の組成における小さな正の極大値を経て Ni の少い側に移動する。

(2) 5 % Cr 合金の場合

5 % Cr を含む Fe-Ni-Co-Cr 系合金の場合には Fig. 6 に見るように、Fe-Ni 側における剛性率の温度係数の正の極大値の位置は、Cr を含まない場合 (Fig. 5) に比べて幾分 Ni の多い側に移っている。これに Co を加えた場合には、その模様は三元系の場合によく類似しているが、正值範囲は廣くなつて全體として Ni の少い側によつており、その最大値の位置は約 32 % Ni, 約 17 % Co, 5 % Cr および残余 Fe の組成附近である。

(3) 10 % Cr 合金の場合

10 % Cr を含む Fe-Ni-Co-Cr 系合金の場合の剛性率の温度係数と濃度との関係は、Fig. 7 に見るように前述の場合と大體類似しているが、この場合にはたゞ Fe-Co 側にエリンバー⁽²⁾の存在に關係する他の極大部分が現われているのが異なつて

いる。なお Fe-Ni 側の極大部分の最大値の位置は、

前の場合よりも Co の多い側に移り、約 17 % Ni, 約 26 % Co, 10 % Cr および残余 Fe の組成附近である。そしてこれら二つの極大部分は約 14 % Ni, 約 35 % Co, 10 % Cr および残余 Fe の組成附近において互に連絡し、従つて剛性率の温度係数の正值區域は Fe-Ni 側から Fe-Co 側まで連続した廣い範圍にわたつてい

(5) P. Chevenard, Compt. rend, 170 (1920), 1499; Trav. et Mém. Bur. Int. des Poids et Més., 17 (1927), 144, Ch-Éd. Guillaume, Arch. Sci. Phys. et Nat. 5-2 (1920), 413; Rev. de Mét., Mém., 25 (1928), 35; O. Engler, Ann. der phys., 5-81 (1938), 145; 増本, 齋藤, 前掲。

の結果から Fe-Ni 系のエリンバーと、Fe-Co-Cr 系のコエリンバーとは互いに密接な関係を有し、それぞれの剛性率の温度係数の正の最大値を示す組成の Ni および Co の濃度は互いに直線的に置換しあうことがわかる。

(4) 15 % Cr 合金の場合

Fig. 8 に見るように 15 % Cr を含む Fe-Ni-Co-Cr 系合金の場合には剛性率の温度係数は全系にわたり負値を示す。その極小部分は Fe-Ni 側の約 44 % Ni, 15 % Cr および残余 Fe の附近から Fe-Co 側の約 60 % Co, 15 % Cr および残余 Fe の附近に向つて走つており、その値は組成によつて餘り變らない。

IV. 總 括

Fe-Ni-Co 系合金の剛性率およびその温度係数におよぼす Cr の添加の影響について研究し、次の結果を得た。

(1) Fe-Ni-Co 系において、剛性率の値は約 42 % Ni

および残余 Fe から約 75 % Co および残余 Fe の方向に向う谷を示し、これに Cr を加える谷は次第に廣くなり、その深さは浅くなる。

(2) Fe-Ni 系におけるエリンバーの存在の原因をなす剛性率の温度係数の正の極大部分は Co および 10 % 以下の Cr の添加とともに次第に Ni の少い側に移動する。

(3) Fe-Ni-Co-Cr 系の 10 % Cr の断面においては、Fe-Co-Cr 系におけるコエリンバーの存在の原因をなす剛性率の温度係数の正の極大部分が現われる。この極大部分は Ni の添加によつて Co の少い側に移動し、上述の Fe-Ni 系から来る極大部分と連絡する。

(4) エリンバーとコエリンバーにおいて、それぞれの剛性率の温度係数の正の最大値を示す組成の Ni および Co の濃度は互いに直線的に置換しあう。

終りに臨み研究中多大の御援助をいただいた手塚貞至氏に深く感謝する。なお本研究の費用の一部は文部省科学研究費よりの支辨によるものである。