Co-Fe-V 系合金の熱膨脹, 剛性率およびその温度係数におよぼす Ni 添加の影響について (第2報) 20 および 30 % の Ni を含む合金の場合*

増 本 量** 齋 藤 英 夫** 後 藤 公 美**

Hakaru Masumoto, Hideo Saitô and Kimiyosi Gotô: Influence of Addition of Nickel on the Thermal Expansion, the Rigidity Modulus and Its Temperature Coefficient of the Alloys of Cobalt, Iron and Vanadium, Part II. Alloys Containing 20 and 30 Per cent of Nickel. The influence of an addition of nickel on the thermal expansion, the rigidity modulus and its temperature coefficient of the alloys of cobalt, iron and vanadium has been determined with the alloys containing 20 and 30 per cent of nickel. The relations between those properties of nickel-added alloys and the concentrations are qualitatively almost similar to those in the case of the ternary alloys of cobalt, iron and vanadium. The addition of nickel affects the coefficient of thermal expansion and the temperature coefficient of the rigidity modulus of the ternary alloys, as if cobalt can be substituted by nickel; that is, the compositions, at which the thermal expansion coefficient shows the minimum value and the temperature coefficient of rigidity modulus the positive maximum, shift to the side of low cobalt content with the addition of nickel. And, when nickel is added, the concentration range having the positive temperature coefficient of the rigidity modulus becomes wider and the slope of the latter to the concentration smaller.

(Received April 28, 1955)

I. 緒 言

著者等の二人⁽¹⁾は以前その一人⁽²⁾の提唱せる Invar に關する法則に従い, Co-Fe-V 系新不變鋼型およびエリナー型合金ベリンバー (Velinvar) を発見した。次で著者等の二人⁽³⁾はさらに 9.1 % の Ni を含む Co-Fe-V-Ni 合金について研究を行い, Ni の添加は剛性率の温度係数の正値範囲を擴げ, 温度係数の濃度に對する變化を緩かにしかつ加工を容易ならしめる効果のあることを見出した。よつて著者等は Ni 添加量をさらに増加した合金についても實驗を行い, 一層良好な結果を得た。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

試料を造るための材料, 熔解, 加工および熱處理の方法ならびに測定に用いた裝置などは第1報⁽³⁾の場合と全く同様で, 試料の数は Ni 20 % を含むもの 54 種, 30 % のもの 56 種である。

III. 測定結果

20 % および 30 % の Ni を含む Co-Fe-V-Ni 四元合金の熱膨脹, 剛性率およびその温度係数の測定結果は Figs. 1, 2 および 4~7 の通りである。圖の濃度面は Ni 20 および 30 % の断面で 0%V における値は著者等の二人⁽⁴⁾が先に測定せる Fe-Co-Ni 系合金の測定結果より採用したものである。次に各測定結果について簡単に説明しよう。

1. 線膨脹係數

10~50° の平均線膨脹係數は Figs. 1 および 2 に示すように, 一般に通常の値を示すが, 合金の組成が 20 % Ni 合金の場合には 22.5

Fig. 1 Thermal expansion coefficient of Co-Fe-V-Ni alloys containing 20 per cent of nickel.

** 東北大學金属材料研究所

* 1953 年 4 月本會東京および 11 月仙臺大會に發表。

(1) 増本, 齋藤, 小林, 本誌, 16 (1952), 420; 東北大研究所報告, A-4(1952), 255.

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

(3) 増本, 齋藤, 手塚, 本誌, 19 (1955), 484.

% Co, 50.5 % Fe および 7 % V に近づくに従い, また 30 % Ni 合金の場合には 7.5 % Co, 60.5 % Fe および 2 % V の組成に近づくに従い, 何れもその値は始め徐々に後

(4) 増本, 齋藤, 河野, 本誌, 19 (1955), 478; 増本, 齋藤, 菅井, 本誌, 19 (1955), 481.

急に減少し、遂に上述の組成においてそれぞれ 5.02×10^{-6} および 1.86×10^{-6} という最小値に達する。

Fig. 2 Thermal expansion coefficient of Co-Fe-V-Ni alloys containing 30 per cent of nickel.

Fig. 3 Relations between the contents of Co, V or Cr and Ni in the compositions showing the minimum coefficient of thermal expansion (O) or the maximum value of the positive temperature coefficient of rigidity modulus (X).

Fig. 6 Temperature coefficient of rigidity modulus of Co-Fe-V-Ni alloys containing 20 per cent of nickel.

氏⁽⁵⁾による 9.1% の Ni を含む合金の場合(第1報, Fig. 1)と比較すると、等熱膨脹曲線の形状は大體類似しているが、Ni の添加量の異なるほど Co の多い範囲において濃度に対する線膨脹係数の変化が緩やかになっている。

次に線膨脹係数の最小値を示す組成の Ni 量と Co 量あるいは V 量の関係を圖に示すと Fig. 3 の通りになる。すなわち Co-Fe-V 合金に Ni を添加すると、熱膨脹係

数の最小値の組成はほとんど直線的に Co の少い方に移動し、Fe-Ni 系の最小値の組成に達するが、V の量は Ni が相當多量になつて始めて變化することがわかる。なお圖には比較のため Co-Fe-Cr-Ni 系合金⁽⁶⁾の場合における Ni の量と Co あるいは Cr 量との関係が點線をもつて示してある。

2. 剛 性 率

20° の剛性率と濃度との関係は Figs. 4 および 5 に示す通りで、

Fig. 4 Rigidity modulus of Co-Fe-V-Ni alloys containing 20 per cent of nickel.

Fig. 5 Rigidity modulus of Co-Fe-V-Ni alloys containing 30 per cent of nickel.

これらの結果を著者等の二人と手塚

その様子は第1報⁽³⁾の Fig. 2 に示した 9.1% の Ni を含む場合と餘り變らない。すなわち剛性率の谷は 20% Ni の場合には約 40% Co, 約 40% Fe および 0% V の組成から起り、約 15% Co, 約 63% Fe および約 2% V の組成に向い、30% Ni の場合には約 18% Co, 約 52% Fe および 0% V から 0% Co, 約 65% Fe および 5% V の方向に走っている。すなわち Ni を添加するにつれ、全體として谷は Co および V の少い方に移動

し、剛性率は一般に小さくなる。

なお剛性率の最大値は 20% Ni 合金では 27.5% Co, 38.5% Fe および 14% V の合金における $8.19 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ であり、30% Ni 合金の場合には 5% Co, 55% Fe および 10% V の合金における $8.00 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ である。また最小値は 20% Ni 合金の場合 30% Co, 48%

(5) 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.

Fe および 2% V の合金における $4.62 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ で，30% Ni 合金の場合には 15% Co, 53% Fe および 2% V の合金における $5.20 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ である。

3. 剛性率の温度係数

20~50° の範囲における剛性率の温度係数の平均値は Figs. 6 および 7 に見るように一般には普通の負の値を

Fig. 7 Temperature coefficient of rigidity modulus of Co-Fe-V-Ni alloys containing 30 per cent of nickel.

示すが，合金の組成が上述の線膨張係数の最小値を示す組成に近づくに従い，その値は始め徐々に後急に小となり遂に零となる。次で正値に轉じて後急に大となり，20% Ni 合金の場合には 22.5% Co, 50.0% Fe および 7% V の組成において $+50.5 \times 10^{-5}$ という最大値を示し，また 30% Ni の合金の場合には 7.5% Co, 60.5% Fe および 2% V の組成において $+78.2 \times 10^{-5}$ という最大値に達する。すなわち何れの場合も線膨張係数の最小値を示す組成において剛性率の温度係数の正の最大値を示す。

これらの結果は第 1 報⁽³⁾の Fig. 3 に示された 9.1% Ni の場合と定性的にはほとんど差がない。しかし Ni 添加量の異なるほど正値範囲は廣くなり，Co の多い組成範囲における温度係数の濃度に対する変化は緩やかになっている。このことは弾性材料としての應用が容易になることを示すものである。またその正の最大値を示す組成は，Fig. 3 に見るように Ni 含有量に従つて線膨張係数の場合と全く同様に直線的に Co の少い側に移り，最後に Fe-Ni 系における正の最大値の組成に達する。また Ni 量に対する V 量の變化の模様も前の場合と同様である。

次に測定した合金の中比較的溫度係数の小なるものを纏めてみると Table 1 のようになる。表中 G は剛性率， α は線膨張係数， g は剛性率の溫度係数である。これらの合金はいわゆるベリンバー (Velinvar) であり，加工が容易であるためヒゲゼンマイ，發條，標準振動體または一般の恒弾性作働體として非常に好適である。

IV. 結 語

20% および 30% の Ni を含む Co-Fe-V-Ni 合金につき熱膨張，剛性率およびその溫度係数を測定して次の結果を得た。

(1) 10~50° の平均線膨張係数の値は 20% Ni 合金の場合には 22.5% Co, 50.5% Fe および 7% V の組成において，また 30% Ni 合金の場合には 7.5% Co, 60.5% Fe および 2% V の組成において，それぞれ 5.02×10^{-6} および 1.86×10^{-6} という最小値を示す。

(2) 20° における剛性率は何れの場合にも測定した組成範囲に一つの谷を示す。その最大値は 20% Ni 合金では 27.5% Co, 38.5% Fe および 14% V の合金における $8.19 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ で，30% Ni 合金の場合には 5% Co, 55% Fe および 10% V の組成における $8.00 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ である。また最小値は 20% Ni 合金の場合には 30% Co, 48% Fe および 2% V の合金における $4.62 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ で，30% Ni 合金の場合には 15% Co, 53% Fe および 2% V の組成における $5.20 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ である。

(3) 20~50° の範囲における平均の剛性率の溫度係数は，20% および 30% の Ni を含む合金の

Table 1 Some examples of velinvar containing 20 and 30 per cent of nickel.

Specimen No.	Composition (%)				G (kg/cm^2) (0°)	α (10~50°)	g (20~50°)
	Co	Fe	V	Ni			
209	35	41	4	20.5	3.4×10^5	11.56×10^{-6}	$+4.0 \times 10^{-5}$
215	37.5	36.5	6	20	6.00	11.60	+ 3.8
224	35	38	7	20	6.39	10.73	- 2.9
225	37.5	35.5	7	20	6.58	11.05	- 0.6
232	37.5	34.5	8	20	6.96	11.07	- 3.5
236	35	36	9	20	7.04	10.18	+ 2.8
242	32.5	37.5	10	20	7.32	10.85	- 0.9
247	30	38	12	20	7.32	10.09	- 1.1
220	22.5	50.5	7	20	6.01	5.02	+50.5
308	22.5	45.5	2	30	5.50	12.38	+ 1.1
317	20	46	4	30	5.84	12.03	+ 2.8
318	22.5	43.5	4	30	5.77	12.27	- 0.3
319	25	41	4	30	6.00	12.01	- 4.4
324	7.5	56.5	6	30	6.54	9.06	+ 4.3
337	22.5	39.5	8	30	6.84	11.29	- 1.4
338	25	37	8	30	6.86	12.02	- 1.7
339	27.5	34.5	8	30	6.10	11.92	+ 0.7
344	15	45	10	30	6.85	12.43	+ 1.4
345	20	40	10	30	7.08	11.63	- 0.7
304	7.5	60.5	2	30	5.46	1.86	+78.2

場合，上述の熱膨張係数の最小値を示す組成においてそれぞれ $+50.5 \times 10^{-5}$ および $+78.2 \times 10^{-5}$ なる正の最大値を示す。

(4) 熱膨張係数の最小値および剛性率の溫度係数の正の最大値を示す組成は，Ni の添加とともに直線的に Co の少い側に移動して最後に Fe-Ni 系の約 35% Ni の組成に達する。しかし Ni 添加量の少い間は V 量においてほとんど變化を示さないが，Ni が多くなると急に V の少い方に移る。また剛性率の溫度係数の正値範囲は Ni 含有量の異なる程度廣くなり，溫度係数の濃度に対する変化は次第に緩やかになる。

(5) Ni を含むベリンバーは溫度係数が小さいばかりでなく，加工が容易でヒゲゼンマイ，發條，標準振動體などの恒弾性材料として非常に好適である。

終りに臨み本研究中多大の御援助をいただいた手塚貞至氏，河野達夫氏および菅井富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。