

日本金屬學會誌

第8卷 第10號 昭和19年10月

研究

Co-Fe-Cr 系合金の弾性率及びその温度係數 並に新合金「コエランバー」に就いて*

増本量** 齋藤英夫**

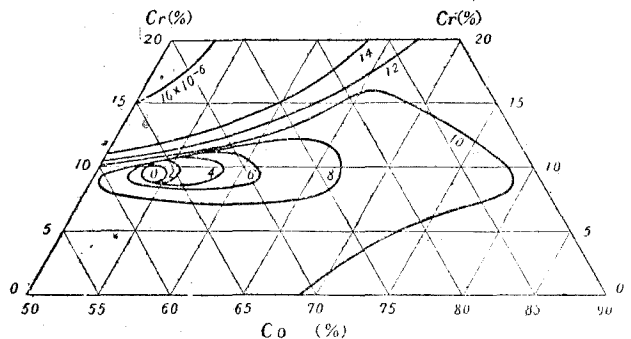
50~90% Co, 0~20% Cr を含む Co-Fe-Cr 系合金の弾性率の温度係數を、螺旋狀試料を用ひ、靜的方法に依つて測定した。温度係數は一般に $-20 \sim -50 \times 10^{-5}$ といふ普通の程度の値を示すが、合金の組成が不銹不變鋼の組成に近づくに従ひ、その値は始め徐々に後急に減少して零となり、次で正值に變り、不銹不變鋼の組成附近に於て著しい正の最大値を示す。而して正負兩値の境界に於ては弾性率の温度係數が全く零となり、所謂エランバーの特性を示す。著者等はこれ等の合金に對しコエランバー (Co-elinvar) なる名稱を與へた。又同じ合金に就いてヤング弾性率をも測定した。弾性率は15% Cr を含む合金に於て特に大なる値をとり、不銹不變鋼附近の組成に於て著しい極小を示す。

(昭和19年7月30日受理)

I. 緒言

著者の一人⁽¹⁾は嘗つて不變鋼 (Invar) に關する理論を發表し、不變鋼 (Fe=64%, Ni=36%) の微小なる熱膨脹性をその磁氣特性によつて説明した。即ち強磁性合金が微小なる熱膨脹性を有するか否かは單にその飽和磁氣と磁氣變態温度との比の大小に關係し、この比が大きい程熱膨脹係數は小さいのである。以上は單に熱膨脹の温度係數のみに就いて説明したのであるが、他の物理的諸性質の温度係數も亦同様飽和磁氣及び磁氣變態温度に密接な關係を有し、熱膨脹係數の最小値を示す合金の組成に於て最大或は最小の値を示すところは當然考へ得べきことである。例へば Fe-Ni 系に於て最小の熱膨脹係數を有する不變鋼の組成に於てヤング弾性率の温度係數は正の最大値を示す⁽²⁾のである。尙著者の一人⁽³⁾は上述の不變鋼に關する理論により Co-Fe-Cr 系合金に於て微小なる熱膨

脹性の現はれることを豫想し、實驗の結果遂に54% Co, 37% Fe 及び9% Cr より成る合金が -1.2×10^{-6} (20°) なる負の最大の線膨脹係數を有するところを發見した。そしてこれに不銹不變鋼 (Stainless invar) なる名稱を與へた。



第1圖 Co-Fe-Cr 系合金の熱膨脹係數等値曲線

即ち、Co-Fe-Cr 系合金の等熱膨脹係數曲線を濃度三角面に投射するに第1圖の如くなる。圖に見る如く、Co を50~90%, Cr を0~20% 含む組成範圍内の合金の大

** 東北帝國大學金屬材料研究所

* 昭和16年4月本會第9回東京大會に於て發表し、又その一部は本誌 [6 (1942), 122.] に速報した。

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

(2) 例へば P. Chevenard, Tavaux et Mém. du Bur. Int. des Poids et Mesures, 17 (1927), 114 参照。

(3) 増本, 東北帝大理科報告, 23 (1934), 265; 本誌, 4 (1938), 141.

部分は一般に $10 \sim 17 \times 10^{-3}$ 程度の線膨脹係数を有するのであるが、合金の組成が上述の不銹不變鋼の組成に近づくに従ひ、その係数は始め徐々に後急に減少し遂に零値を超えて後負の値をさるに到る。而して前述の組成に於て負の極大値 (-1.2×10^{-2}) を示すのである。

かやうに Co-Fe-Cr 系合金に於て熱膨脹係数の大なる最小値が現はれるのであるから、上述の理由により弾性率の溫度係数も亦その組成附近に於て最大値を示すべきである。従つてこれを實驗によつて決定するのは非常に興味ある事柄である。而して著者等は昭和 15 年 3 月、55% Co, 37% Fe 及び 8% Cr より成る合金が $+5.5 \times 10^{-2}$ ($0 \sim 50^\circ$) なる弾性率の溫度係数を有することを発見した。即ち、この合金系の弾性率の溫度係数には正值及び負値の 2 種があり、従つて弾性率の溫度變化の極めて微小なる合金が存在することを確かめ得たのである。更に著者等は同じ合金について靜的方法によりそのヤング弾性率をも測定した。次に測定結果の一部を記述しよう。

II. 試料並に測定方法

合金の材料としては電解 Co, 電解 Fe 及び金屬 Cr を用ひた。その化學分析の結果は第 1 表の通りである。

第 1 表 金屬元素の化學分析結果

	Fe (%)	Ni (%)	Cr (%)	Si (%)	Mn (%)	Al (%)	P (%)	S (%)
電解 Co	0.31	0.06	0.04	0.02	0.01	0.04	0.004	0.016
電解 Fe	—	—	0.04	0.002	0.015	0.02	0.006	0.003
金屬 Cr	0.29	—	0.03	0.51	0.03	0.17	—	—

合金を作るには、先づ各金屬を適當な割合に調合して誘導電氣爐を用ひて熔かした。脱酸並に加工性を良好ならしめる爲に熔解に際して 0.1% の Al 及び 0.5% の Mn を添加した。次にそれを鐵型に鑄込んで邊の長さ約 2cm の角棒を作り、更にこれを直徑約 6mm の圓棒に鍛造し、最後に直徑約 3mm の針金に線引した。

弾性率の測定には、この合金線の一部を切りこつて鍛造して板狀にした後、平削盤によつて長さ約 10cm, 幅約 5mm, 厚さ約 1mm の板に削り、最後に鑄仕上げを行つて試料とした。又弾性率の溫度係数を測定するには、同じ合金線を外徑約 4cm, 長さ約 10cm, 卷數 16 を有する螺旋形に巻き、互に逆巻きのものをも 2 個作つて試料とした。

試料は何れも更に真空中に於て、 1000° で 1 時間加熱の後爐中冷却をした。合金の組成は第 2 表の通りである。

ヤング弾性率の測定は通常の撓曲測定法に依り、その溫度係数の測定は、以前 Houseman 及び Keulegan⁽⁴⁾ が考案した靜的弾性率溫度係数測定方法に依つて行つた。その裝置並に測定方法は著者等が先に Ni-Cu 系合金の研究⁽⁵⁾ の際用ひたものと全く同様なのでここには省略する。尙上記の方法に依る測定結果より弾性率の溫度係数

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⁽³⁾ が以前行つた測定結果 (第 1 圖) を利用した。

第 2 表 合金の組成及び測定結果

試料 番號	組 成 (%)			E (kg/cm ²)	α (3) ($20 \sim 60^\circ$)	e ($0 \sim 50^\circ$)
	Co	Fe	Cr			
1	60	40	0	—	9.6×10^{-6}	-22.5×10^{-2}
2	65	35	0	19.5×10^5	9.6	-19.5
3	75	25	0	18.3	10.5	-22.2
4	80	20	0	16.7	11.7	-29.5
5	90	10	0	19.9	11.7	-35.1
6	50	45	5	21.6	9.3	-21.0
7	55	40	5	23.1	9.5	-23.1
8	65	30	5	19.6	9.6	-26.7
9	70	25	5	17.4	9.7	-28.7
10	75	20	5	18.3	10.7	-33.0
11	80	15	5	19.7	10.5	-33.4
12	85	10	5	19.7	11.4	-34.6
13	55	37	8	18.0	6.0	+ 5.5
14	57	35	8	16.0	3.1	+ 1.7
15	60	32	8	14.9	6.6	-12.4
16	65	27	8	17.4	8.0	-21.7
17	54	36.5	9.5	16.4	0.1	+28.3
18	50	40	10	23.4	12.0	-31.8
19	51.5	38.5	10	19.3	8.7	- 1.0
20	53	37	10	17.1	0.2	+82.0
21	55	35	10	—	1.4	+29.2
22	57	33	10	17.5	3.8	+ 9.6
23	57.5	32.5	10	16.7	3.5	+ 1.2
24	58	31.5	10	17.6	5.4	+ 4.1
25	60	30	10	17.4	5.1	-15.5
26	65	25	10	18.5	7.5	-19.8
27	70	20	10	18.1	8.8	-20.4
28	75	15	10	18.4	9.5	-27.9
29	80	10	10	—	13.5	-31.9
30	51	37	12	—	13.1	- 5.1
31	51.5	36.5	12	20.8	12.0	+60.4
32	55	33	12	18.6	12.0	+37.0
33	57	31	12	19.5	6.0	+25.8
34	58.5	29.5	12	19.6	6.0	+ 4.4
35	60	28	12	—	7.6	- 2.4
36	63	25	12	19.4	7.8	- 9.9
37	65	23	12	19.8	8.0	-16.2
38	52.5	35	12.5	18.7	13.0	+30.3
39	50	35	15	21.3	16.0	-36.4
40	52.5	32.5	15	—	15.6	-34.1
41	55	30	15	19.9	15.4	-28.9*
42	60	25	15	22.3	14.0	-19.6*
43	65	20	15	22.2	9.5	- 8.5
44	70	15	15	22.6	10.2	-17.7
45	75	10	15	24.4	10.3	-21.5
46	50	30	20	18.5	16.3	-53.2*
47	60	20	20	16.7	14.8	-36.8
48	70	10	20	16.7	10.5	-33.4

* 印を附せるものは $20 \sim 50^\circ$ の測定結果を示す

III. 測定結果

測定結果は第 2 表に纏めてある。表中 E はヤング弾性率、 α は著者の一人⁽³⁾ が以前測定せる線膨脹係数の値、又 e はヤング弾性率の溫度係数を示す。表中 * 印を附せるものは合金が 20° 以下では非可逆的變化を示すので 20° 以上の可逆的曲線から求めた値である。尙弾性率及びその溫度係数の測定結果を圖示するに第 2 圖 (a) ~ (g) の如くなる。圖中横軸は合金の濃度を示し、縦軸は各測定値

(4) M. R. Houseman, G. H. Keulegan, J. Res., Bur. Stand., 10 (1933), 289.

(5) 増本, 齋藤, 本誌, 8(1944), 49.

を表はす。又弾性率と濃度の関係を立體圖で表はすに第3圖(a)の如くになり、その等弾性率曲線を濃度三角面に投射するに第3圖(b)の如くなる。次に弾性率の温度係数に就いて同じ様に立體圖と投射圖を作るにそれぞれ

の少い方に移動する。又この弾性率の谷を境として Co 含有量の多い側に二つの山を生じ、少い側に一つの山を示す。而してその測定値の中最小のものは 60%Co, 2%Fe 及び 8%Cr の合金に於ける $14.9 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ で、最大の値は 75%Co, 10%Fe 及び 15%Cr 合金に於ける

$24.4 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ である。

以上の結果より、弾性率の最小値は不銹不變鋼の Co 含有量より稍々大なる濃度に於て現はれることを知る。

(2) ヤング弾性率の温度係数

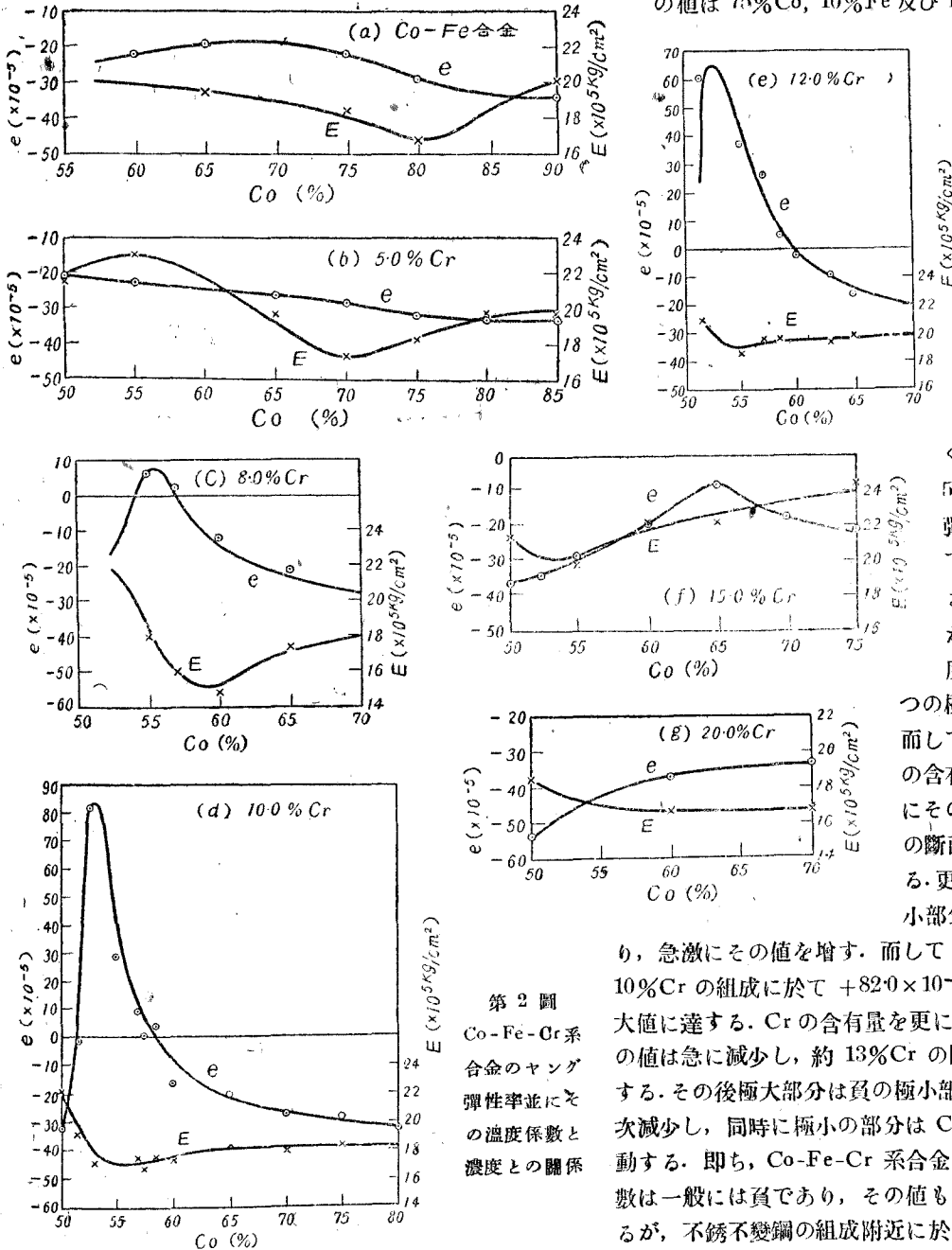
第2圖及び第4圖(a), (b)に見る如く、Crの含有量が凡そ

5%迄の合金に於ては弾性率の温度係数は負で大體普通の程度の大さを示すが、Cr含有量が約5%を超えるに温度係数對濃度曲線に一つの極小部分が現はれる。

而してこの極小部分は、Crの含有量の増加と共に急激にその値を減じ、約7.7%Crの断面に於て遂に零に達する。更にCrを添加するに、極小部分は正の極大部分に變り、急激にその値を増す。而して53%Co, 37%Fe及び10%Crの組成に於て $+82.0 \times 10^{-5}$ と云ふ大なる正の最大値に達する。Crの含有量を更に増すに、この極大部分の値は急に減少し、約13%Crの断面に於て再び零に達する。その後極大部分は負の極小部分に變り、その値は漸次減少し、同時に極小の部分はCo含有量の多い方に移動する。即ち、Co-Fe-Cr系合金に於て弾性率の温度係数は一般には負であり、その値も通常の大さの程度であるが、不銹不變鋼の組成附近に於ては非常に大なる正の値を示す。従つて正、負兩値の境界に於ては弾性率の温度係数は全く零となる。

IV. コエランバー (Co-elinvar)

上述の如く、Co-Fe-Cr系合金のヤング弾性率の温度係数には正及び負の兩値が存在し、従つて温度による弾性率の變化の極めて小なる合金が存在し得る理である。



第 2 圖
Co-Fe-Cr系合金のヤング弾性率並にその温度係数と濃度との關係

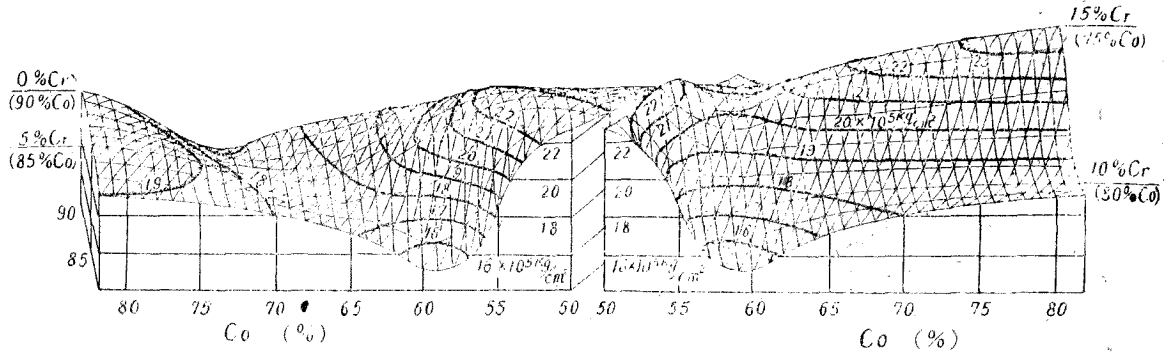
れ第4圖(a)及び(b)の如くなる。以下各測定結果に就き簡単に説明しよう。

(1) ヤング弾性率

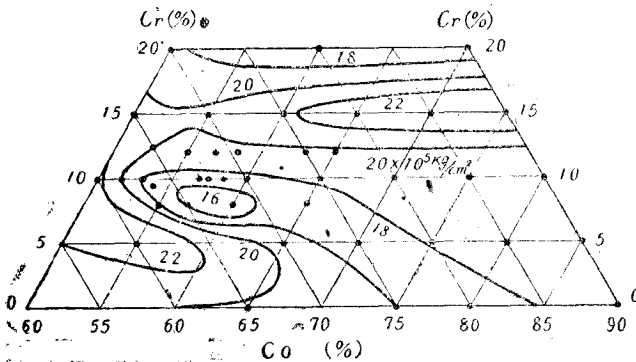
第2圖及び第3圖(a), (b)に見る如く、Co-Fe系合金の弾性率は約80%Coの濃度附近に於て一つの極小を示す。この極小は、Crを添加するに従ひ、次第にCoの含有量

測定せる合金の中、比較的溫度係數の小なるものを纏めて見るに第 3 表の如くなる。これ等の合金は所謂エラ

を與へた。コエランバーも亦從來のエランバー（一例、Ni=約 36%、Cr=約 12%、Fe=約 52%）と同様時計計

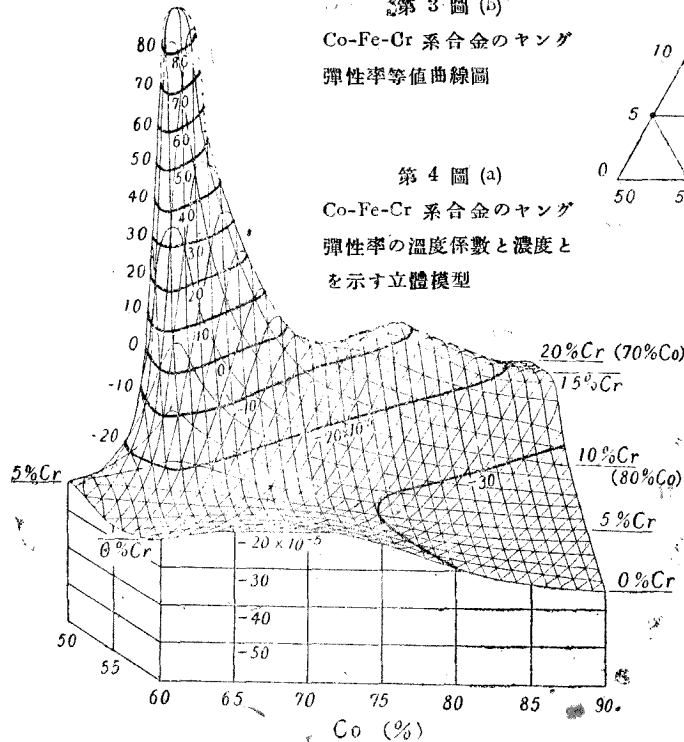


第 3 圖 (a) Co-Fe-Cr 系合金のヤング弾性率と濃度との關係を示す立體模型



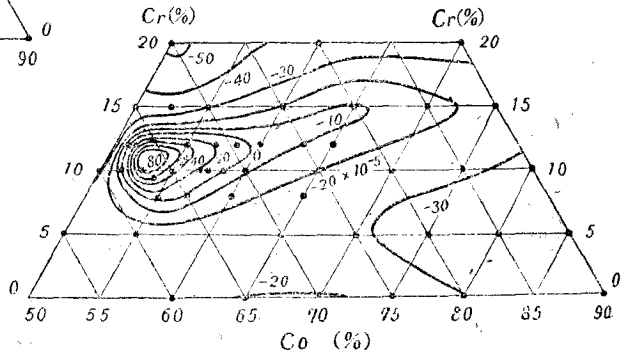
第 3 圖 (b)

Co-Fe-Cr 系合金のヤング
弾性率等値曲線圖



第 4 圖 (a)

Co-Fe-Cr 系合金のヤング
弾性率の溫度係數と濃度と
を示す立體模型



第 4 圖 (b) Co-Fe-Cr 系合金のヤング弾性率の
溫度係數等値曲線圖

第 3 表 コエランバーの數例

試料 番號	組 成 (%)			ヤング弾性率の溫 度係數 (0~50°)
	Co	Fe	Cr	
14	57	35	8	+1.7 × 10 ⁻⁵
19	51.5	38.5	10	-1.0
23	57.5	32.5	10	+1.2
35	60	28	12	-2.4

ンバーの特性を有し且つ Co を含有する新合金なので、
著者等はこれに對しコエランバー (Co-elinvar) なる名稱

器等のヒゲゼンマイその他一般計器用特殊材料と
して非常に好適である。

尙著者等はコエランバーに更に Ni を添加して
測定を行つて居るが、Ni の影響は大體 Co を置換
する方向に作用しコエランバーの特性が保持され
るこゝが解つた。その結果については後日本誌に
發表するこゝにする。

V. 總 括

上述の研究結果を總括するに次の様になる。

- (1) 50~90%Co, 0~20%Cr を含む Co-Fe-Cr 系合金のヤング弾性率は、60%Co, 32%Fe 及び 8%Cr の組成に於て最小値を示し、その値は 14.9×10^5 kg/cm² である。然しこの組成を遠ざかるに従つて値は

始め急激に後緩かに増加し、その最大値は 75% Co, 10% Fe 及び 15% Cr の組成に於ける $24.4 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^2$ である。

(2) ヤング弾性率の温度係数は、上述の組成範囲の大部分に於て負の値を示す。然し合金の組成が不銹不變鋼の組成に近づくに従ひ、始め徐々に後急に減少し、遂には正值に變じて、53% Co, 37% Fe 及び 10% Cr の組成に於ては $+82.0 \times 10^{-3}$ なる正の最大値を示す。

(3) 弾性率の温度係数の正、負兩値の境界に於ては値が全く零となり、所謂エランパーの特性を示す。よつてこれ等の合金に對しコエランパー (Co-elinvlar) なる名稱を與へた。

終りに臨み、實驗中多大の援助を頂いた松本二郎、森祥吉兩氏に對し深く感謝する。尙研究費の一部は日本學術振興會より補助されたもので、同會に對し衷心より謝意を表す。

合金の凝固の際共存する固液兩相の容積變化(第2報) Cu-Pb 軸承合金に関する研究*

高瀬孝夫** 福田元***

Cu-Pb 系合金の凝固の際に起る固液兩相の容積變化を混合比に依り計算し、凝固中に容積の收縮する狀況及び比重變化の狀況を明らかにした。計算結果に依ると液相の收縮の最も著しいのは 95.4° の偏晶反應でこの際等温的に約 11% 收縮する。固相の容積に對して液相の容積は偏晶反應直前に於て約 4% 小さいが反應を終れば 15% も小さくなる。この著しい變化が Cu-Pb 合金の鑄造の際の收縮集發生に重大な關係を持つものと想像される。尙 327° の Pb の凝固に於ても微量の等温收縮が起る。Pb 含有量と合金の收縮率との關係に就いて見るに 95.4° の偏晶反應に於ては Pb 36% 附近が最大で 1.6% となり、全凝固區間では Pb 30% 附近に 7.3% といふ、1箇の極小値が存在し他は Pb 含有量と共に連続的に變化する；次に比重變化に於ても 95.4° の偏晶反應に於て最も大きく液相自體の比重増加は 11% で固相に對しては反應直前約 4% のものが直後では 17% も液相が大となる。この等温比重變化が本合金の鑄造の際に生ずる Pb 偏析に關係を持つことが想像される。尙 Pb 36~92.5% 間の共軛 2 液相にも比重差が存在し Pb 側の液相が Cu 側の液相よりも約 12~13% 大きい、以上の容積變化及び比重變化と温度との關係より見て本合金は凝固の際に極めて複雑な過程を経るものでこの合金の鑄造の困難さを窺知することが出来る。

(昭和 19 年 7 月 30 日受理)

I. 緒 言

Cu-Pb 合金は凝固範囲の大きいこと、比重偏析傾向の大きいこと、收縮集の多いことその他種々の理由に依りこの合金は極めて鑄造困難で他の合金を鑄造する様な方法では良品を得ることは出来ぬ。現在熔融狀態のものを急冷する方法が一般に行はれて居るがこの方法に於ても細心の注意を拂つて鑄造するにも拘らず同一製品を得ることは極めて困難で、凝固區間の諸條件が極めて微妙な影響を及ぼすことは航空機用ケルメットを製造する技術者の屢々體驗するところであらう。

處で從來迄の研究経過を見るに、この合金の鑄造に関する基礎的研究は比較的少く、最近の主なるものでは丹治氏⁽¹⁾がこの合金の鑄造條件と組織との關係、Pb の偏析、第三元素の影響なきに就いて報告された程度である。

著者等ははこの合金系がその熔融狀態及び凝固中に容積

又は比重が如何な様子で變化するかに關して著者の一人が行つた從來同一方法⁽²⁾即ち混合比に依つて理論的に計算を行ひ、この合金が凝固中に極めて複雑な容積又は比重變化の道程を経ること及び凝固中の固液兩相の比重差の大きいことを明らかにし、容積變化の點から考へてもこの合金が鑄造上極めて困難なる性質を有することを明らかにした。

II. 計算結果並に結果に對する考察

第 1 表は計算に必要な Cu 及び Pb の融體並に固體の體膨脹係數及び融解點に於ける比容を示す。これ等の數値に依り直ちに各温度に於ける單體の比容が計算され、從つて比容と逆數關係にある比重が計算される。第 2 表、第 3 表は Cu-Pb 狀態圖より計算された温度降下に伴ふ Pb 濃度の變化、比容、比重の變化及び液相の固相に對する比容、比重の差を 100 分率で示したものである。ここで固相といふのは勿論温度降下の際液相より晶出した Cu のことで、Cu 及び Pb は互に固溶體を作らないから單體としての容積及び比重の變化を採る。

** 川崎航空機工業株式會社

*** 川崎車輛株式會社

* 昭和 18 年 10 月本會第 14 回廣島大會に發表

(1) 丹治、三菱名古屋發動機研究報告、6 (1943)、2號。

(2) 高瀬、本誌、7 (1943)、26。