日本金属學會誌

B-第 14 卷 第 7 号

研 究

Fe-Co-V 系合金の脆性機構と磁氣的性質について

山本達治* 一戸英敏** 藤田黎明***

Tatsuji Yamamoto, Hidetoshi Ichinohe and Tamiaki Fujita : On the Relation between Cold-rolling and Magnetic Properties of Fe-Co-V Alloys. Fe-Co system alloys used for telephone receiver diaphragm, called by the name "Permendur", must be cold-rolled easily to very thin sheet, but generally Fe-Co alloys are brittle and cannot be cold-rolled readily. When a few percent of vanadium was added by quenching from about 900° without influencing the magnetic properties, it can be cold-rolled.

Mechanical properties such as hardness, elongation, tensile strength and etc. vs. quenching-temperature curves increase all from about 600° and attain a maximum at about 700~1100°. It is interesting to note that hardness has a maximum at 800°.

Fe-Co (50%) alloys has FeCo superlattice, This is confirmed by X-ray analysis. But on the contrary to Ni-Fe (38.5% Ni) alloy, its magnetic properties decrease by quenching : Fe-Co (50%) -V(2%) alloys has decreased after quenching, and the magnetic properties vs. quenching-temperature curve has conspicuous features. By varying Co% at constant V%, the excellence of 50% Co alloy was confirmed. About this alloy B-H curves were measured at various annealing temperature, annealing time. After this alloy was cold-rolled its magnetic properties increases generally. This alloy has strong direction dependency measured by torquemeter after cold-rolling, but when annealed, it vanishes perfectly.

(Received February 24, 1950)

I. 緒 言

今日まで知られている合金中磁気飽和値の最高は略々 Fe₂Co なる組成附近の Fe-Co 合金である。この Fe-Co 系合金についての研究は非常に多い。即ち増本量博士⁽¹⁾によれば 50% Co 附近は初導磁率が極大である。また茅誠司博士⁽²⁾等及び多くの学者は X 線的⁽³⁾並びに物理冶金学的⁽⁴⁾研究を行い、50% Co 附近に FeCo なる規則格子が存在することを確認している。

Elemen⁽⁵⁾ は 1929 年この系合金は脆弱なので V を添加

することによつてその加工性が改善されることを提唱した。その後 J. H. White 及び C. V. Wahl⁽⁶⁾ は加工性を改善するため V を添加すると共に 900° より焼入するとその加工性が顯著となり容易に冷間加工が可能となることを発見した。これが Permendur の商品名のもとに米國において各種磁性材料として使用されているものである。

著者等は 1945 年以降この系合金を電気振動板材料として工業化すべく企画し、種々実験せるも結局この系合金の冷間加工するためには先ずその脆弱なる機構を究明せざればその工業化は容易ならざるを考察しこゝにそれに関する二 三の実験を行い、次で熱処理と磁氣的性質に関する研究を行いその本質を究明し遂に工業化に成功した。

II. 試料の製作並びに測定法

合金を造るにはアームコ鉄、粒状コバルトを用いた。その化学分析の結果は Table 1 の通りである。

先ず所要金属を適当な割合に調合してこれを 35 KVA の高周波誘導電気炉によつて 2kg 宛溶解した。次にこれを適

* 千葉工業大学

** 岩手大学工学部

*** 浪速大学工学部

(1) 増本量, 東北大理科報告, 18-I (1929), 195; 金属の究研, 6 (1929), 347.

(2) 茅誠司, 里洋, Proc. Phys-Math. Soc. Japan, 25 (1943), 265.

(3) C. Ellis, E. S. Greiner, T. A. S. M., 29 (1941), 45.

(4) G. W. Elemen, B. S. T. J., 8 (1929), 435; J. of the Franklin Inst., 207 (1929), 583.

(5) J. H. White, C. V. Wahl, 米國特許, 1862599, (1932)

当な金型に鑄造して表面の皮を削取り、次に約 900~1000° で 2~4mm の厚さに熱間圧延した。これより棒状試料をとり磁性並びに硬度測定用に、これを 850° より水に急冷後

Table 1 Chemical Analysis of Metals Used.

Metals	Fe%	Si%	C%	P%	S%	Co%	V%	Mn%
Armco Fe	—	0.011	0.014	—	0.034	—	—	0.068
Co	0.39	0.07	0.22	—	0.021	—	—	0.007
Ferro-vanadium	—	1.67	0.34	—	0.097	—	36.74	0.31

0.2~0.5 mm の薄板に冷間加工して適当なる寸法に切断して振動板の特性その他種々の熱処理用に供した。

磁気の測定は弾動電流計法によつた。弱磁場の測定には外径 45mm, 内径 35mm, 厚さ 2~4mm のリングを用いた。なお電気抵抗の測定は板状試料を用い電位差計法によつて行つた。

III. Fe-Co 系合金の脆性機構

Fe-Co 系合金は脆弱であるがこれを阻止するために 2~4%V を添加し 700~900° より焼入すれば、その脆弱性は消失し、容易に薄板になることは既に J. H. White 及び C. V. Wahl⁽⁵⁾ によつて研究されその磁氣的性質は二、三記載されているがその本質についてはあまり明らかにされていない。よつて著者等はこの系合金の脆性機構を探究すべく硬度、抗張力、伸び、断面収縮率及び衝撃値を測定した。

先ず試料として 50% Co に 3% V 以内の数種を製作し、これを 300~1000° に 2 時間保持後各温度から水焼入し、その Rockwell 硬度 C を測定した。

Fig. 1 には 50%Co に 0.95%, 1.53%, 1.95%, 及び 2.69% V を添加した合金の焼入温度による硬度の変化を示してある。0.95% V 合金の硬度は焼入温度の上昇と共に増加し 730° で極大値約 10 を経て減少し、850° で極小値 6.5 を経て再び増加する。その他の合金の硬度も同様の経過を示している。たゞ極大並びに極小を示す温度並びにその値及び高温における増加の割合が異なるに過ぎない。

Fig. 1 Relation between the Hardness vs. the Quenching Temperature of Fe-Co-V Alloys.

これ等の曲線からわかるように 0.95% V を含有する合金においては約 850° 附近の極小の硬度は焼鈍状態の硬度に比し幾分低値にある。また各曲線の約 730° 附近の硬度の極大は規則格子生成に基づくためでまた 900° 以上の硬度の増加は相の変化によるものである。

かくの如く約 50% Co に V 数%以下を添加した合金の硬度は 830~860° から焼入したときに極小の硬度を現わすの

で、その他の機械的性質例えば抗張力、伸長率、断面収縮率及び衝撃値にもその温度において異常性が現われるものと予想される。よつて 1.65% V を含む 50%Co 合金を用い焼入温度による機械的性質の変化を求め Fig. 2 に示した。図より明らかなように容易に冷間加工の可能範囲の焼入温度が決定される。

Fig. 2 Relation between Quenching Temperature and Tensile Strength Elongation, Contraction Percentage of Area and Impact Value (51.9% Co, 1.69% V, Bal. Fe).

に大なる温度範囲である。

次にこれに関連して焼入温度による比電気抵抗の変化を測定した。

Fig. 3 は Co (50%) : Fe (50%) に 2.07% 及び 3.13% V 合金を 100~1000° 間より水冷して得た比電気抵抗を示す。例えば Co (50) : Fe (50) + 2.07% V 合金の電気抵抗は焼入温度の上昇と共に最初は徐々に増加の傾向を辿っているが 800° 附近より急激に減少し 900° の極小を経て 1000° において増加する。また同様に 3.13% V を添加した場合 500° 附近までは徐々に増加の傾向を辿っているがそれ以上の温度において急激に増加し約 800° の極大を経て 900° の極小となり再び増加する。この 900° の極小は 800° の極大とあまり差異はない。

IV. Fe-Co 系合金の熱処理の及ぼす磁氣的性質

Fe-Co 系合金の規則格子に関する茅誠司博士、里洋⁽²⁾両氏の研究によると約 50% Co 附近は焼入によつてはその磁氣的性質が改善されないことを報じている。しからば V を数%添加した場合には Fe-Co 系合金と同様の現象のあるか否かを前記の脆性機構と関連して測定することは重要と考えられる。

度が決定される。即ち抗張力は 700° より急激に増加し一旦軽い極小を経て 900~1000° に第二の極大を呈している。伸び及び断面収縮率は 700° より急激に増加し極大を経て減少する。衝撃試験値は 850° において異常なる極大を呈する。

よつてこの合金の脆性をなくしこれに冷間加工を可能ならしめる焼入温度範囲はおよそ 850~900° であると判断される。

これは原子配列の不規則化のため硬度が比較的減少し更に伸びと抗張力とが共

熱間加工によつて得た 2mm の板を外径 45mm, 内径 33mm に切削しこれを 400~1100° までの冷水焼入してその磁性の変化を測定した。Fig. 4 は 51.9% Co, 16.5% V 合金

Fig. 3 Relation between Quenching Temperature and Specific Resistance.

最大導磁率 μ_m も μ_0 と略々同一傾向を辿っている。なお頑磁力 H_c は焼入温度の上昇に伴い徐々に減少し約 700° に小さな極少を経て増加し、約 1000° において急激なる極大を

Fig. 4 Relation between Quenching Temperature and Magnetic Properties. Size: Thickness 2mm; Out dia. 45mm; Inner dia. 33mm.

ため寧ろ劣下した。

以上のことから Fe-Co 系合金に V を添加した合金が焼入によつて磁性の改善が期待出来ないで専ら焼鈍温度と冷却速度の変化による磁性を研究したがその結果によると 850° H_2 氣中 4 時間保持炉中冷却が最良であつた。

次に Fe-Co 系合金が受話器振動板材料として使用するので約 2% V を含む 18.50%, 38.2%, 38.47%, 46% 及び 62.84% Co 合金の増分導磁率を磁化曲線と交流導磁率の測

定より求めた。

測定には外径 45mm, 内径 33mm, 厚さ 0.2mm の環状薄板を約 10 枚重ねた試料を用いた。Fig. 5 はその測定結果で 46% Co, 2.03% V 合金が最良である。特に 62.84% Co, 2.04% V になると増分導磁率は急激に劣下する。(④の Co% は 46.44%)

V. Fe-Co 系合金の冷間加工と磁氣的性質

Fe-Co 系合金は 0.2~0.4mm 程度の薄板として使用され

Fig. 5 Incremental Permeability of Fe-Co-V(2%) Alloys.

Fe-Co 系合金は規則格子合金であり且つ V を添加してその規則格子変態に阻止しているので、硅素鋼板の磁氣的性質に及ぼす冷間加工の影響とは相違することであろうが著者等は一應加工度と磁氣的性質並びにその熱処理の及ぼす影響を測定した。

先ず 30% Co, 2% V, Bal Fe を 66% cold roll し次に 750° 850° 及び 950° にそれぞれ焼鈍した場合の磁化曲線を測定したが余り顕著な変化を認められなかつたが 50% Co, 2% V 合金を 75% cold roll し 750°, 850° 及び 950° 各 4 時間焼鈍しその磁化曲線を測定せるに弱磁場では 850° 焼鈍がよ

Fig. 6 Relation between the Magnetization Curve and Cold Rolling.

ることを示している。

VI. 50% Co 2% V 合金の方向性

振動板として特に放射状磁氣分布の下に使用する場合には成るべく方向性のないことが要求される。よつて 50% Co,

しかも冷間加工によつてその磁性が改善されねばならない。

さて磁性材料の冷間加工に関する詳細なる研究は主として硅素鋼並びにベーマロイ等に限られているが冷間加工度が磁氣的性質に顯著に影響することは知られていることである。

く、強磁場では 750° 焼鈍した場合が最高であることが判つた。Fig. 6 に後者の測定結果を示す。なお Fig. 7 は両合金の種々の焼鈍温度における初導率及び最大導磁率にして冷間加工により磁性が改善され

20%V 合金について 50~75% の冷間加工を施した直径 15 mm, 厚さ 0.25mm の円板試料の磁気廻轉力を測定し Fig. 8

Fig. 7 Relation between Magnetic Properties and Cold Rolling. Fe-Co-V(2%) Annealed 4 hr.

に示した. 図より明かな様にきれいな方向性を有している.

しかるにこれを 850° に焼鈍すると全く方向性は示さない. 唯 950~1000° で焼鈍すると極僅少の方向性らしきものが

認められたがそれらの原因については今の処明らかでない.

Ⅶ. 結 言

以上の研究結果を総括すると次の通りである.

(1) 50%Co-2%V-Fe 合金の焼入状態における硬度, 抗張力, 伸び, 断面収縮率, 衝撃値及び比電気抵抗を測定し, 焼入によつて加工性の良くなる脆性機構を論じた. (2) 50%Co-2%V-Fe 合金の焼入温度に対

Fig. 8 Torque Curve (No anneal).

する磁氣的性質を測定し徐冷の方が850°より優れた特性を呈することを明らかにした. (3) 増分導磁率は50%Co, 2%V, Fe合金を850°4時間水素焼鈍せる場合が最良である. (4) Fe-Co系合金は冷間加工によつて方向性は現われるが800°で焼鈍するとそれは消失する.