

透磁率変化による磁気分析法について (第2報)

(クロム鋼中のクロムの挙動について)

近 藤 正 男

Magnetic Analysis of Steel by Means of a New Method;

— II. On the Solubility of Chromium in Ferrite (α Iron)
Contained in a Chromium Steel.

Masao Kondo

A search coil is placed around a steel specimen put in a cylindrical heating furnace, and they are placed together in a magnetizing solenoid. Alternating current is passed through the solenoid, and the current induced in the search coil is measured by an alternating current galvanometer. The steel specimen containing 1.0%C and 1.5%Cr was taken, and the relations between the galvanometer reading and the temperature of the specimen were observed in the range 400°~800°C. With this method, the following results have been obtained : —

- (1) By quenching and tempering, the solubility of Cr in ferrite decreases with the increase of the tempering temperature, the Cr atoms diffusing into the carbide.
- (2) By austempering, the solubility of Cr in ferrite is higher when the isothermal transformation temperature is lower.
- (3) Therefore, the solubility of Cr in ferrite in a chromium steel varies with the temperature.

概 要

交番磁場内に試料を置き、試料に巻いたサーチコイルに誘起する起電力を、交流検流計で測り、その値と試料の温度との関係を求める。この方法によると、従来区別のつかなくなかつた相の状態の差異を知る事が出来る。その一例として、クロム鋼を焼入し焼戻すると、焼戻温度の上昇と共にその関係は炭素鋼のそれに近づき、クロム鋼のフェライト中のクロム量が、焼戻温度の上昇と共に減少する事を推定出来る。又恒温変態に於ても、高温で変態したものは、低温で変態したものよりもフェライト中のクロム量が低い。これは前報で述べた装置によつて、精密にはかつた。変態の関係から、炭化物中のクロム量を検した結果とよく一致する事を示した。

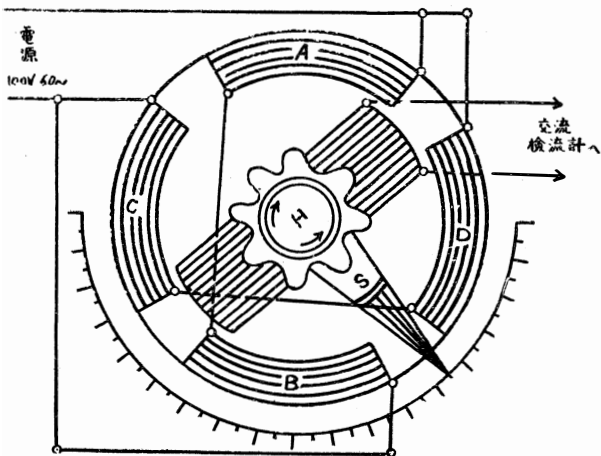
I. 緒 言

交番磁場内に試料を置き、その試料に巻いた search coil に生ずる起電力と試料の温度との関係を求めると、それが、従来広く使用せられてゐた磁力計で得られる結果と殆んど同様になり、しかもよみが安定で、精度も高い事を種々の実験例について証明し、前報⁽¹⁾に報告した。この装置で得られる起電力波形は試料の材質によつて定るものであるから、逆にその波形を比較して、材質の差異を推定する事が出事の管である。しかしその波形は、前報に述べた様に一般に複雑であるから、波形そのものを直接比較する代りに、交流検流計を使用して、その検流計の磁場の位相と、測定電位の位相との関係を適当に調節して、その差異が最も明瞭に現われる様な条件で比較する方法をと

つた。

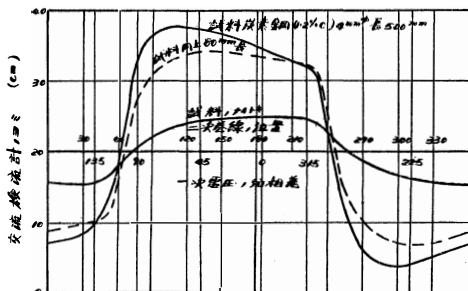
Ⅱ. 装 置

本装置の配線図を第1図に示す。その大要は前報と同様であるが、その整流器の代りに交流検流計が用いてある。この検流計は可動線輪型反照検流計の永久磁石の代りに、同形同大の積層珪素鉄板の鉄心を取付け #23 (0.58mmφ) 銅線を左右各 370 巻にした。その field coil に流す電流の phase の調節装置には 1/2HP の双極単相直流モーターを改造したものを用いた。その配線を第2図に示す。改造した直流モーターの core にハンドルと指針とを取

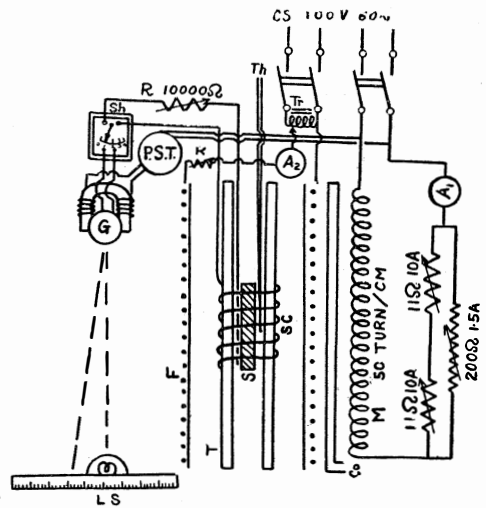


H : ハンドル, A, B (リアクタンス 589Ω , レジスタンス 620Ω , 100V, 1.2A) 電極
S : 指針, C, D (リアクタンス 4.7Ω , レジスタンス 0.5Ω , 100V, 1.07A) 電極

第2図 交流検流計磁場用電流の位相調節装置 (第1図のP.S.T)

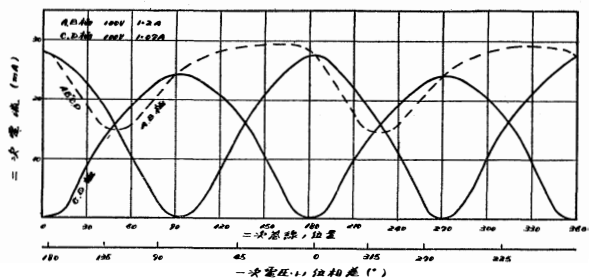


第4図 本装置の特性曲線



S : 試料, T 石英管, SC サーチコイル 0.5mmφ 白金線 Co 冷却管
F : 二重巻 2KW, M 磁化コイル, A₁, A₂ 検流計, SH シャント,
R ; 抵抗器, G 交流検流計, P.S.T. 位相変成器 (第2図)
LS ランプスケール, CS 電源 Tr 3KW トランス Th 熱電対,

第1図 磁気分析装置 (No. 2) 配置図



第3図 位相差と一次電流の関係

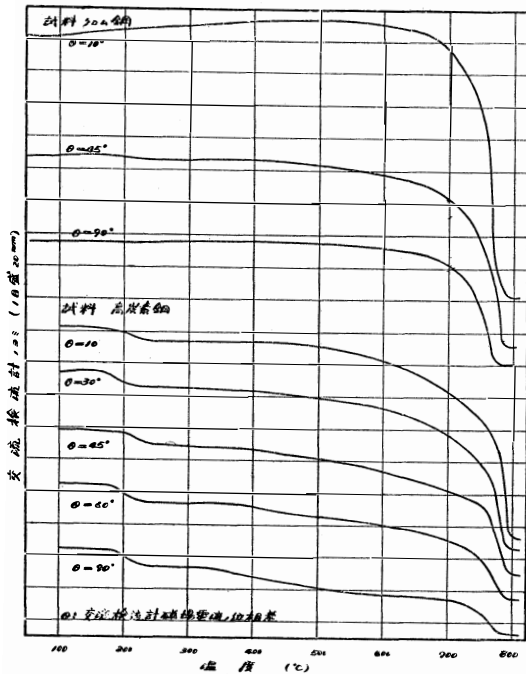
付け、指針によつて一次電圧との位相差を示し得る様にした。この位相差と二次電流との関係を第3図に示した。交流検流計の field current の位相と、交流検流計のよみとの関係を第4図に示し、field current の位相を変えて得られる磁気分析曲線を第5図に示した。

第5図は高炭素鋼 (C=1.2%) で得られた結果である。

Ⅲ. 本試験方法の特性

この試験方法によれば、従来区別の出来なかつた相の状態の差異を明かにする事が出来る場合がある。次にその一例として、従来の磁力計、或は前報の磁気分析装置では、A。変態以外に殆んど相違の認められない高炭素鋼 (C=1.2%) と、低クロム高炭素鋼 (C=1.0%, Cr=1.5%) とについて上記の装置によつて、交流検流計の field coil の位相を掛けて磁気分析曲線をとつた。

第6図はその結果であつて、位相差 90° では相当の差を示すので、その両者を更に詳し



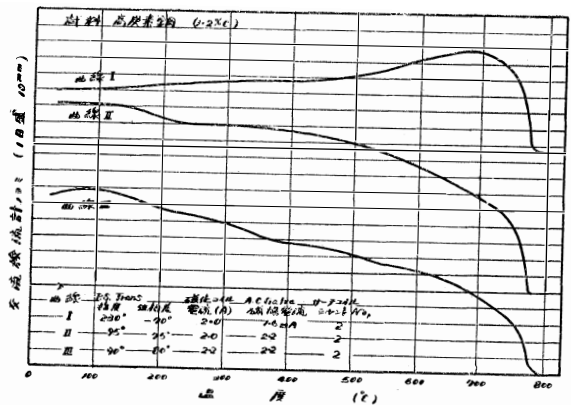
第6図 本装置による磁気分析例

く比較すると第7図の様に A。変態と共に 400°C 以上 A。点迄の曲線が著しく異つてゐる。

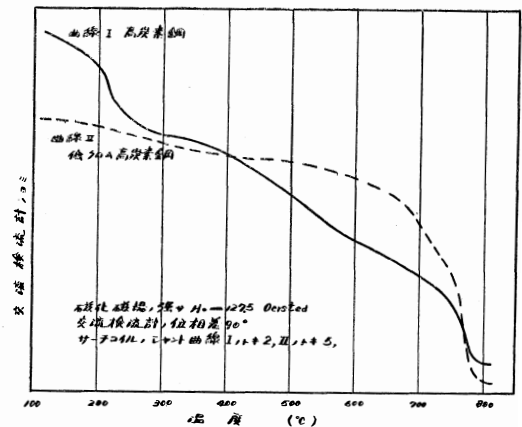
この曲線の相違の原因を求めるために高炭素鋼について下記の試料を作つた。即ち

- (1) 750°C より空冷し, sorbite 組織としたもの,
- (2) 750°C より焼入し, 700°C に 1h 焼戻し sorbite 組織としたもの,
- (3) 950°C に加熱後, 徐冷して pearlite 組織としたもの。

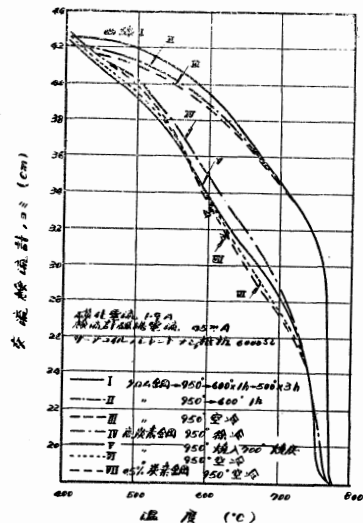
尚 (4) 0.5% C 炭素鋼で 900°C より空冷したもの



第5図 磁気分析曲線=日本検流計位相、影響



第7図 本装置による炭素鋼、304鋼、比較



第8図 熱処理、影響

について磁気分析をした。約 400°C に於ける上記装置のよみを一致させて比較すると、第8図の様に殆んど一致した曲線を示したので、この 400° 以上のこの曲線は試料のセメンタイトの形状や分布状態、従つてフェライトの形状や、分布や、量の多少や結晶粒度に無関係な性質である事がわかつた。

従つて上記のクロム鋼との相違は、フェライトのクロム含有量の相異によるものであらうと思われる。

Ⅲ. クロム鋼の熱処理条件と、フェライト中のクロム量との関係についての研究

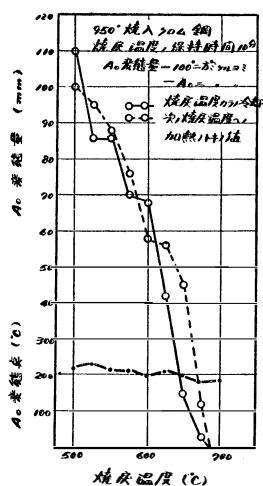
前記低クロム高炭素鋼 ($1.0\%\text{C}$, $1.5\%\text{Cr}$) を焼入焼戻した場合と、恒温変態をした場合と、その各処理をした後、加熱保持温度を変えた場合について、上記装置によつてフェライト中のクロム固溶量の変化を検した。

(1) 焼戻温度による変化

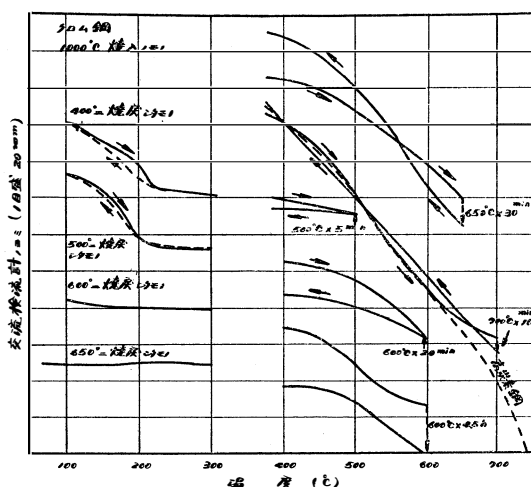
1000°C 水焼入後、 $500^{\circ}\text{C}\sim 700^{\circ}\text{C}$ に焼戻すと、焼戻温度が高くなるに従つて、次第に高炭素鋼のそれに近づき、 700°C 焼戻では殆んど同様になる。 500°C 以下の焼戻では A. 点が認められるが、 650°C 以上の焼戻では殆んど認められなくなつてゐる。

クロム鋼では、焼入し焼戻すと、焼戻温度が低いときは、クロム原子は炭化物に少く、フェライトに多く固溶し、焼戻温度が高くなると、炭化物に多く、フェライトに少く固溶し、 700°C では殆んどフェライトに固溶しなくなる。

前報の装置によつて、磁気分析を行い、焼戻温度と A. 点との関係を求めると第10図の様に



第10図 焼戻-20A. 変化



第9図 焼戻-20A 鋼磁気分析曲線、変化

なつた。第10図は上記クロム鋼を 950°C 焼入を行い、各温度に10分間焼戻し、A. 変位の量と、A. 点を求めたものである。この結果から、炭化物中のクロム量は焼戻温度と共に減少することがわかる。

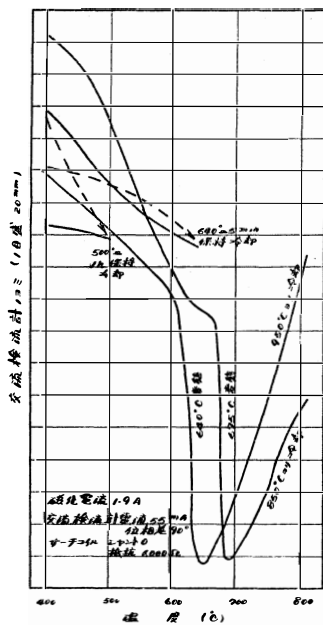
(2) 恒温変態の場合

上記クロム鋼を A₁ 点以上から冷却し、 640°C で変態させたものは、 675°C 変態のものよりも本装置によつて得た曲線の傾斜が少く、 600°C 変態のものは尙少い。第11図前報の装置で A. 変態を検すると、A. 変態は変態温度によつて異り、 640°C 変態では常温で認められない。

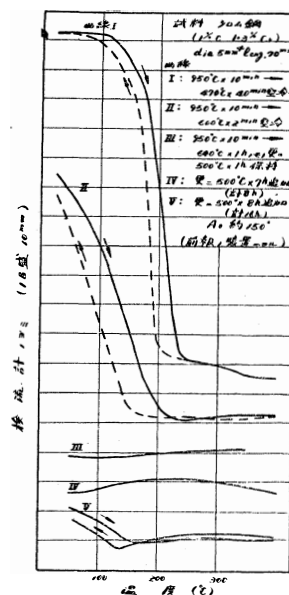
(第12図)

(3) クロムの固溶状態に関する考察

クロム鋼は恒温変態曲線に於て A₁, Ar', Ar'' の3変態を示し、Ar' 変態は、本研究に使用したクロム鋼では、最高加熱温度 850°C の場合、変態温度 600°C から 350°C の範囲に生じ (凸出部 475°C)⁽²⁾ 最高加熱温度 920°C の場合、変態温度 550°C から 200°C に生じている。(凸出部は 400°C)⁽³⁾ 今井博士によれば⁽³⁾ 550°C 以上の変態温度で現われる炭化物は、 $\eta = (\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$ であり、それより下で現われる炭化物は $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$ であつて、前者は A. 変態の認められないものであり、後者は 200°C 附近に A. 変態の認めら



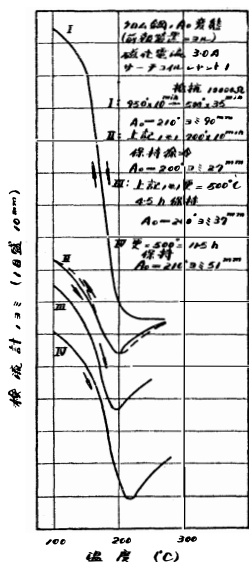
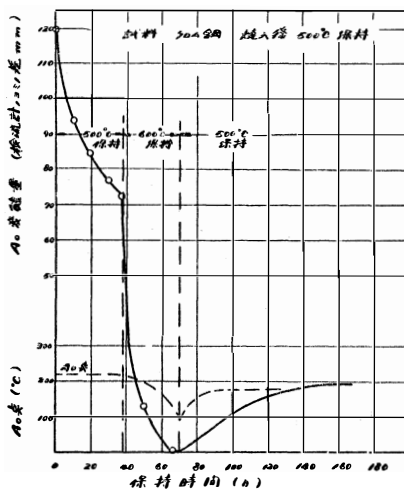
第11図 変態温度、数量

第12図 変態温度、A₁変態

れるものである。前者を 500°C に加熱すれば A₁ 変態を生じ、後者を 600°C に加熱すれば A₁ 変態が消滅すると報告している。

H. Lange と K. Mathieu⁽⁴⁾ によれば、恒温変態によつて生ずる炭化物は A₁ 変態でも A' 変態でも A₁ 変態が認められるが、その A₁ 点は変態温度が高い程低くなり、その温度に於ては一定である。又焼入焼戻してその温度に保持すれば、その温度で恒温変態をしたものと同一の A₁ 点を与える事を報告している。

著者の本研究によれば、A₁ 変態で生じた炭化物は A₁ 点が常温以上で認められないが、そのフェライトのクロム溶解度は、恒温変態温度によつて差異があり、焼入焼戻をしても焼戻温度が高い

第13図 加熱、A₁変態、焼戻第14図 304鋼、保持温度、A₁変態、焼戻

程フェライト中のクロム溶解度が減じ、炭化物の A_0 点が下り、その変態量も少くなる。その変化には非常に長時間を要するので本研究では平衡状態になる迄行わなかつた。

640°C 恒温変態のものを 500°C に保持すると 8h 迄は A_0 を認めず、16h に至つて 150°C に A_0 点を認めた。(第12図) 又 500°C 恒温変態によつて $A_0 = 210^\circ\text{C}$ のものを 700°C に保つと A_0 変態量は急激に少くなつた。それを再び 500°C に保つと、16時間保持後 A_0 点が 210°C にもどつた(第13図) 焼入焼戻によつて 500°C に保持すると A_0 点は変らず。その変態量は第14図に示す様に急激に減少した。保持温度を 600°C にすると、変態点は次第に下るが A_0 点が約 100°C で A_0 は消滅した。それを再び 500°C に保持すると、 A_0 点及び A_0 変態量は次第に回復した。

V. 総 括

本報告は、交番磁場内に保持した試片に導線を巻いて、その起電力の大きさを、交流検流計で測る装置を作り、この装置が、特殊鋼の相の状態を研究する新らしい方法である事を示す一例として、クロム鋼中のクロムの挙動についての研究を報告した。その結果

- (1) クロム鋼を焼戻すると、フェライトに固溶するクロム量は焼戻温度の上昇と共に多くなり、600°C 以上ではその炭化物は A_0 変態を示さなくなる。 A_0 変態を示さなくなつた炭化物を 500°C に保持すれば約 200°C に A_0 変態を示すに至る。
- (2) クロム鋼を恒温変態させると、変態温度が高い程、そのフェライト中のクロム量は少い。 Ar_1 変態で生じた炭化物は A_0 変態を示さないが、それを 500°C に保つと A_0 変態を示すに至る。

尙本研究は昭和23年10月 日本金属学会秋期大会(福島)に発表したものである。

文 献

- (1) 著者：富山大学工学部紀要第3巻第1号(1951) 57頁
- (2) 著者：日本金属学会誌 Vol. 11, No. 11, 12 不二越月報 Vol. 7 No. 1 (昭和26年9月) p. 1
- (3) 今井：日本金属学会誌 Vol. 8 No. 4, 166
- (4) H. Lange, K. Mathieu : Mitt. K-W-I Eisenforschung Vol. 20 (1938)