

透磁率變化による磁氣分析法について

近 藤 正 男

Magnetic Analysis of Steel by Means of a New Method.

Masao Kondo

The change of magnetic property of steel with temperature is ordinarily measured by the magnetometer. This needs the direct current : a quite large error occurs in this method due to the change of surrounding conditions. The author devised a new method which does not need the direct current, and the permeability change ($d\mu/dt$) of the specimen is measured. Rectifying the induction current which is induced in the search coil around the specimen, it is measured by the galvanometer. The search coil is placed in the cylindrical furnace, put in the magnetising solenoid. The earth field causes no serious effect, and hence, special adjustment are unnecessary for this method.

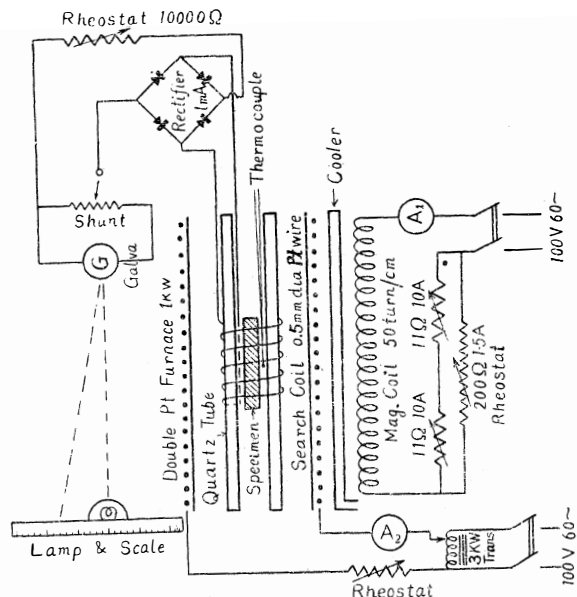
概 要 磁氣的性質の、温度による変化を測定する爲に、試験片を交番磁場内に置いて、その試料に search coil を巻き、試料の温度を高める。Search coil に生ずる起電力は交流であるから、整流して検流計でよむ。そのよみと温度との関係は 従来の磁力計を用いる磁氣分析の結果と同様であつて、しかも磁力計を用いる場合の様に磁氣嵐や外部磁場に乱される事がなく、よみは安定で、拡大して読めるし精度も高い。

I 緒 言

磁氣の強さと温度との関係を測定すること、即ち磁氣分析は金相学上重要な方法であつて、従来は殆んど磁力計法が用いられている。磁力計による磁氣測定の結果は既に周知の如く種々の原因から、他の測定法によるものよりも劣るのであるが、温度との関係を容易に読み得るから広く用いられているのである。磁力計法は磁氣嵐や外部磁場によつて乱されることが多いと共に、又磁化コイルと補償コイルとの両磁力が磁力計に対して打消し合う様に調整する事が相当に困難である。著者は磁力計の代りに普通の反照検流計を用いる装置として、交番磁場内に試料を置き、試料に search coil を巻いて、試料の透磁率變化の割合に応じて search coil に流れる感応電流を測定し、その感応電流と温度との関係を求めたが、その結果は磁力計による磁氣分析の結果と殆んど同様であると共に、上記磁力計使用上の困難を著しく少くし、磁力計法よりも著しく測定が容易になることがわかつたので、その結果の概略を報告する。本研究は昭和 22 年 11 月 日本金属学会京都講演会に発表したのが、其後この方法が他の二三の研究者によつて研究に使用される様になつたのは喜ばしい事である。

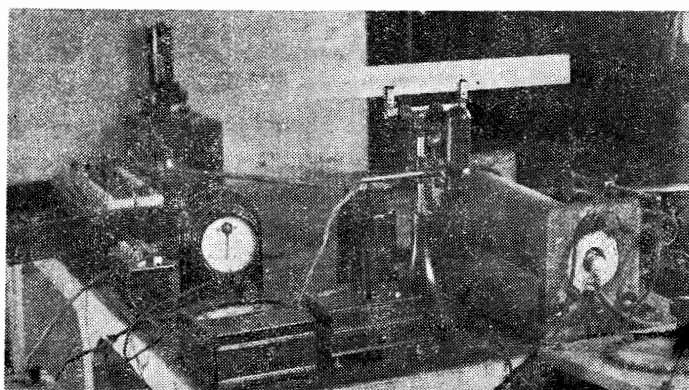
II 装 置

本装置の配線図を第 1 図に、その概観を第 2 図に示す。磁化 coil 内に試料加熱用の白金抵抗炉を入れ、その内部に石英管に巻いた search coil を置き、その中へ磁氣分析をすべき試料を入れるのであつて、磁化 coil に交流を通じ、search coil に生じた感応電流を計器用酸化銅整流器で整流し



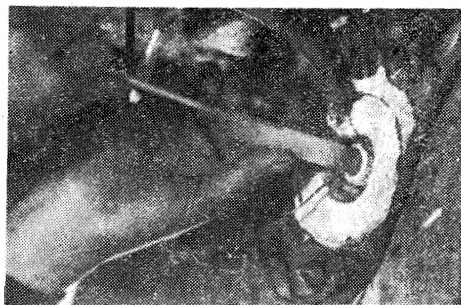
第1図 磁気分析装置配置図

10-10 amp, 2.5×10^{-7} volt のものを用いた。試料を挿入するには、磁化 coil の一端から試料を入れ、細い石英棒で押込む。磁化 coil の電流を一定にしていると、scale のよみは、試料が search coil に入ると共に大となり、ほぼ中央に来ると、試料の位置に拘らず、よみが一定になる。この位置で測定を行つた。試料を出すには径約 5mm の鉄線をその一端から挿入する。試料はその磁力によつて吸着するから、鉄線を引出せば附着して出て来る。第3図にその操作をして



第2図 磁気分析装置

いる所を示した。



第3図 試料の挿入取出操作

て検流計によつて読み取る。磁化 coil には 50巻/cm, 長さ 40cm の solenoid を用い、電流は交流最大 4 amp を流す。内部の白金抵抗炉との間には冷却水を通じた。抵抗炉は二重白金線を巻いたものであつて、磁化 coil の磁場を乱さない様にする爲に直流で加熱する方がよいが、研究の結果は実用上、交流で加熱しても差支へない事がわかつた。search coil は 0.5mm の白金線を外径 11mm の石英管に約 30 回巻いて、水ガラスとアルミナで絶縁したものである。その全抵抗は常温で 0.65Ω , 1000°C で 3.8Ω になるが、回路に 10000Ω を挿入したので、search coil の温度による抵抗の変化は試験結果には影響がなかつた。検流計には universal shunt を用いた。検流計は感度 $61.5 \times$

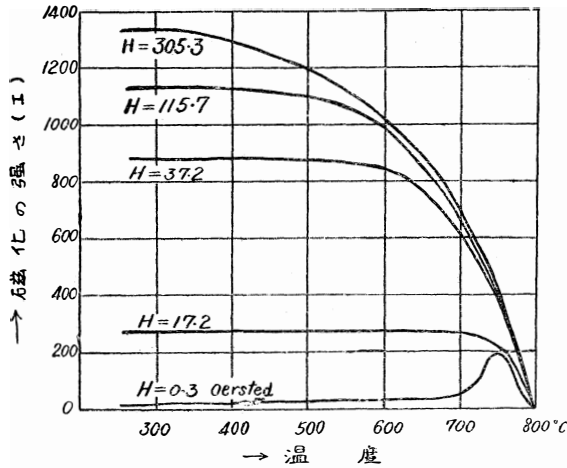
III 本試験方法の特性

(1) 精度及び安定度

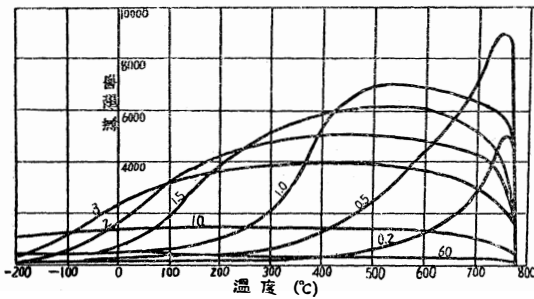
磁化 coil の電流は ± 0.002 amp の正確さで調節出来るが、その時のよみは $\pm 0.15\text{mm}$ の精度である、又検流計は $\pm 1\text{mm}$ 以内の振動をするのが普通である。

(2) 磁化 coil の電流の強さ即ち磁場の強さの影響

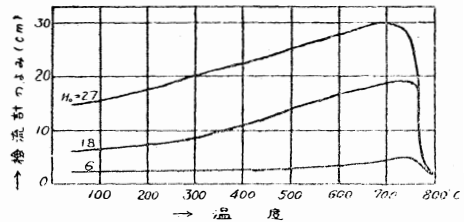
磁場の強さが、磁気の強さ対温度及び透磁率対温度曲線に及ぼす影響は第4図 a. b の様であつて、両者同様の傾向にある。本装置による測定結果もほぼ同様の傾向にあつた。第5図は炭素量1.2% C の高炭素鋼線直径 4.5mm. 長さ 1m のものについて、外部磁場を 30, 78, 126, 174, 222 エルステッド、及び 27, 18, 6 エルステッドとした場合の結果を示したのである。磁化の強さ I を正確に求める事が困難であるから、反磁場の強さが求められない。ここでは見かけの磁場の強さを一定とした。磁場が 80 oersted 以下では磁場が弱い程、最初よみが大となり、極大を経て減少する



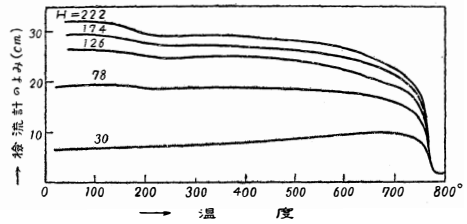
第4図 a 磁場の強さの影響 (本多:“物質の磁性”による)



第4図 b 磁場の強さの影響 (福田“電気材料”による)



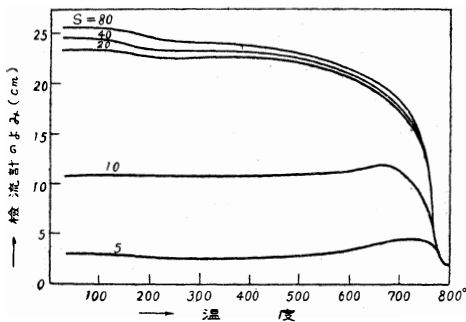
第5図 a 磁場の影響 (シャント2)



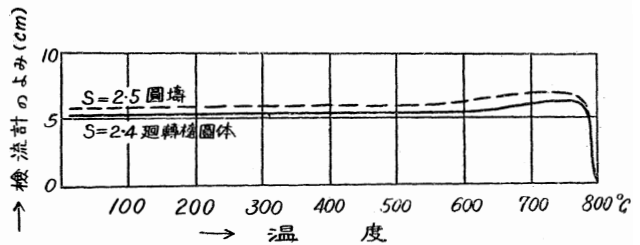
第5図 b 磁場の影響 (シャント10)

られないが $H_0 = 78$ 以上では明瞭にわかる。 $H_0 = 78$ 前後では常温から加熱するにつれてよみは大となり、 A_0 変態に近づくると減少を始めるから、 A_0 変態がよくわかる。

(3) 試料寸法の影響



第6図 a 寸法比の影響



第6図 b 寸法比の影響

試料の直径を 5mm とし、長さを 400mm から次第に小さくする即ち長さ/直径=寸法比 s を 80, 40, 20, 10, 5 にとつた。寸法比が小さくなるに従つて、反磁場が大となるから、丁度磁場 H_0 を弱くした様になる。寸法比 10 から 20 でよみは急に大となり、それ以上ではよみはあまり変わらない。曲線の形も $s=20$ 以上では強磁場の場合の様なる形になる。第 6 図 a はその結果を示したものである。寸法比が 2.5 になるとケースルのよみは小さくなるので、シャントを 1 にした。この時には加熱コイルの磁場がよみに加つて来るので、読取の時には、加熱電流を 0 にして読取つた。

(4) 外部磁場の影響

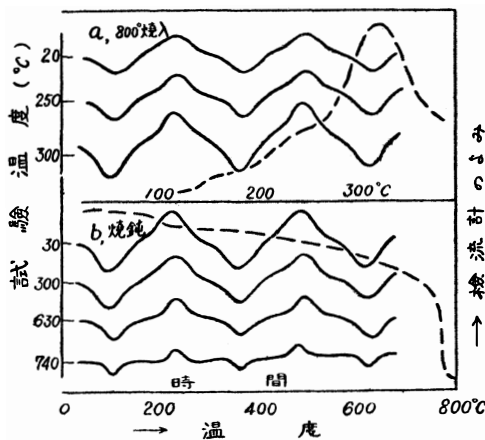
普通の磁気分析では、直径 5mm、長さ 70mm 位のものを用いるが、磁化電流 20amp、シャント 10 として、従来の磁力計による測定値よりも、よみは大きく出る。(約 200mm) のみならず、外部磁場の影響は殆んどないのであつて、例へば約 10 kg の鉄の棒を磁化コイルのごく近傍へ持つて来ても、検流計と磁化コイルの中間に置いて、測定値は少しも乱されない。

III search coil に生ずる電流波形の温度による変化

本装置に於ては、60 cycle 交流によつて試料に生じた磁力線の変化が search coil に感應電流を生ずるのであつて、その感應電流の大きさを計るのであるから、温度によるその波形の変化を見る事によつて、本測定の特徴を更に詳しく知る事が出来るものと考へ、oscillograph によつて、その波形を検した。

先づ、磁化 coil に流れる磁化電流であるが、その波形は本試験に使用した電流 0.5~2.5amp の範囲内では電流の大きさ、試料の材質、寸法、形状の如何に拘らず、いつも sine wave であつた。

(1) 炭素鋼 (第 7 図)



第 7 図 炭素鋼 (1.2%)

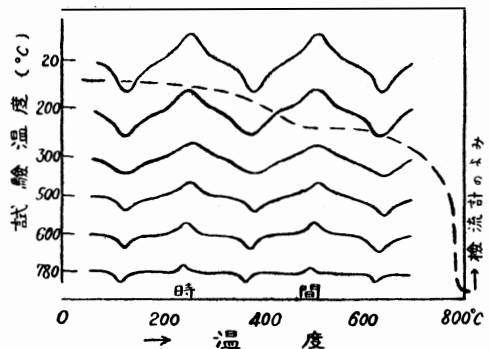
のがよくわかる。

800°C 焼入したものを焼戻して、その曲線の変化を見ると、250°C 付近で波高が高くなり、300°C 付近から 400°C へかけて第 7 図 a の如く曲線に凹凸が次第について来るのが、よくわかる。

(2) タングステン鋼 (第 8 図)

特殊鋼はそれぞれ特有の曲線を示し、例へば高速度鋼はかなり明瞭な角形の波形を示すが次にそ

磁場 $H_0 = 168$ oersted に於て、炭素量 1.2% の細線についての感應電流曲線を見ると、0 点から徐々に増し、次いで増加は急激になり maximum となつてから次第に減少して 0 点に至る。温度が上がると共に、最初の増加はゆるやかになり、電流の maximum が低下して来る。温度の上昇と共に、次第に最初の上昇は減じて、 A_1 変態前に於ては殆んど水平になり、maximum の部分のみが、その上下に凸出している様な形になる。 A_2 変態に於ける磁力の減少して行く過程に於ては、その maximum が低くなり、その部分の幅の狭くなる



第 8 図 タングステン鋼 (C 1%, W 1.5%)

の一例として、C 約 1%，W 約 1.5% のタングステン鋼についての温度による波形の変化を示す。第 8 図はそれであつて、maximum の部分の peak が炭素鋼よりも明瞭に凸出している。100°C 附近迄変化なく、200°C 迄次第に peak の部分の幅が広くなり、波の高さが低くなつて来る。500°C 附近からは peak に段が付き 600° から磁力が減ると共に波高は益々低くなり、peak の高さも同時に低下すると共に幅が狭くなつて来る。A₁ 点で幅は急激に狭くなつて来る。

(3) 細片又は粉末の場合

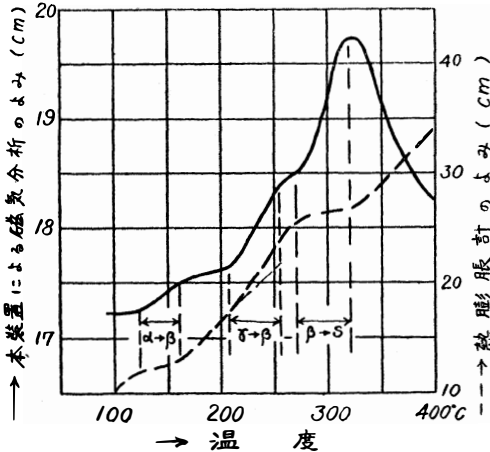
本装置では細片をいくつか使つても又粉末を石英管に入れて使つても、磁気分析に於て同様の曲線が得られるのであるが、感応電流の波形は細片にする程、その特殊鋼特有の波形が不明瞭になつて sine wave に近づいて来る。例へばタングステン鋼 6mm 角 厚 0.8mm のもの 12 個を並べたとき、磁化曲線は相当なめらかになる。この様な場合は温度を上げて行つて 700° や 800° に至つても、波の高さが低くなるのみで形は殆んど変わらない。

電解鉄の細粉を内径約 4mm の石英管につめた場合には、非常に滑かな sine wave に近いものになり、磁気分析曲線は従来の磁力計で得られたものと様になつた。

V 本装置による磁気分析の数例

(1) 炭素鋼焼鈍材の磁気分析は前述の通り、磁化電流を適当に選べば従来の磁力計によるものと様になる。

(2) 炭素鋼焼戻 1.2% C 炭素鋼を 800°C 水焼入して焼戻して行くと、120°C 附近と 200°C 附近と 260°C 附近とによみの上昇がある。熱膨脹計の結果を比較すると、第一の上昇は martensite の分解に相当しているが、熱膨脹計の結果よりも明瞭に現はれている。(第 9 図)

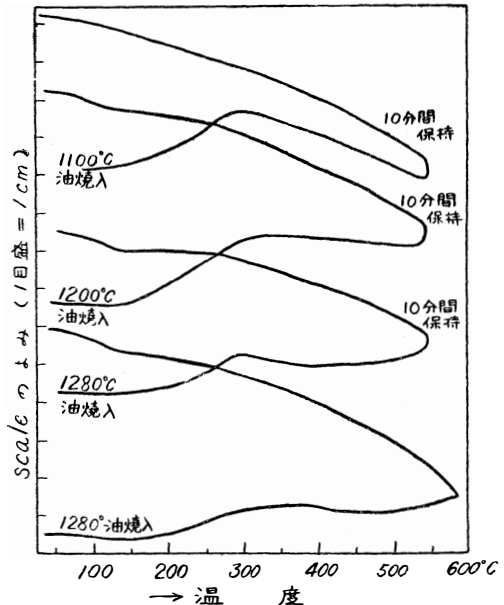


第 9 図 炭素鋼 (1.2% C) の焼戻曲線

(3) 高速度鋼の焼戻 (第 10 図)

18-4-1 型 高速度鋼 (径 4mm 長さ 100mm) を焼入したものを加熱すると、焼戻されるに従つて磁氣的性質が異つて来て、scale のよみが

増減する。今、焼入温度を 1100°C、1200°C とした時のよみを見ると、200°C から 300°C にかけて読みの著しい増加が現はれていて、これは 1280°C 焼入のものが小さい。これは一次 martensite の焼戻されたものである。520°C 附近から僅かによみの上昇があつて、これは 550°C に保持している



第 10 図 高速度鋼 (18-4-1) の焼戻曲線

間にも続いている様である。これは 600°C 焼戻の曲線を見ればわかる様に 550°C 以上でも続いている。冷却の時の二次 martensite の生成はあまり明瞭ではないが認められる。

VI 結 論

以上、磁化 coil に交流を通じ、その内部に試料を入れ、試料に巻いた search coil に生ずる交流を整流器で整流して、検流計で読み取る様にし、試料と search coil とを管状電気炉に入れて加熱し、温度と検流計のよみとの関係をとると従来磁力計で得られたと殆んど同様の結果が得られ、従来の磁気分析の代りに用いる事が出来る。磁場が弱い時、試料が小さい時は、従来の磁気分析の結果と同様に温度に共によみが上昇する。尚 search coil に流れる電流の波形の温度による変化をしらべた。本装置と従来の磁力計による方法との特徴を対照して見ると第 1 表の様になる。

第 1 表

| 磁力計による磁気分析 | 本方法による磁気分析 |
|--------------------------------------------------|---------------------|
| 磁化の強さを測る。 | 導磁率の変化によつて測る。 |
| 磁化に直流を用いる。 | 交流のみで直流の必要はない。 |
| 磁化の強さが計算出来る。 | 磁化の強さは計算出来ない。 |
| 磁化コイルが磁力計に及ぼす磁力を補償コイルで打消す <u>めんどろな</u> 操作が必要である。 | 左の必要なし |
| 外部磁場の影響を受ける。 | 外部磁場の影響を受けない。 |
| よみが不安定である。 | よみは極めて安定である。 |
| | よみは磁力計より拡大出来、精度も高い。 |

[本研究の要旨は日本金属学会誌 No.11. Vol 11. 12 p. 7 (昭和23年2月) に掲載]