高炭素高クロム鋼の熱処理による磁性の變化*

横山 均 次** 松倉 恒 夫***

Kinji Yokoyama and Tsuneo Matsukura: On the Change of Magnetic Intensity of High-C High-Cr Steel by Heat Treatments. The change in magnetic intensity of a high-C high-Cr steel containing 2.11 % C, 13.23 % Cr was measured by a magnetometric method under different heat treatments and the cause of such change was studied. The experimental results are summarized as follows: (1) The intensity of magnetization after quenching became smaller as the quenching temperature became higher in the case of quenching both in air and in oil. Especially, in the case of quenching in oil or in air from 1130°, almost no magnetization was observed, which revealed that it has entered a 100 % austenite state. (2) When a specimen quenched in oil from 950° or 1050° was heated, there was observed an increase in the intensity of magnetization at around 300°. In the case of the specimen oil-quenched from 1130° such change was not perceived. (3) Specimens oil-quenched from these quenching temperatures represented a remarkable change in magnetic intensity at around 700°. From the previously informed results of the dilatometric experiments etc, it was obvious that this should be due to a $\gamma \rightarrow \alpha$ transformation owing to a decomposition of the residual austenite. On the cooling curves, moreover, no change in the magnetic intensity was observed which would correspond to a precipitation of ferromagnetic carbide and others. (4) As results of the measurement on the change of magnetic intensity versus tempering treatment, it was found that the transformation of austenite was the easier in the case of the lower temperature of quenching. Besides, in the case of the equal temperature of quenching, its transformation was the easier as the tempering temperature was the higher and as the holding time in tempering was the longer. These results well coincided with the previously informed results of both the dilatometric experiment and the measurement of the electric resistance with the same steel.

(Received 1954)

I. 緒 言

一般に高炭素高クロム鋼は硬化処理に伴う變形少く、かつ安定であり、耐摩耗性も大であるために精密工具あるいはゲージ材料として利用せられている。著者等はさきに C 約 2 %, Cr 約 13 % を含む高炭素高クロム鋼について熱処理に伴う歪の變化を測定し、この種の鋼の硬変ならびに變形に對しては焼入ならびに焼戻の條件を適當にすることが必要であるが、その際焼戻によるオーステナイトの分解の様相については特に考慮を要することを指摘した⁽¹⁾。従来オーステナイトよりの炭化物の析出あるいはそれに基づく $\gamma \rightarrow \alpha$ 變態などについては著者等主として熱膨脹實驗および電氣抵抗測定⁽²⁾の結果によつて検討してきたが、本研究においてはさらに磁氣測定を行うことによつて變態の様相をしらべ、すでに得られた諸測定の結果と合せて考察を加え、この種鋼の熱処理上の基礎的資料とした。

** 東京工業大學精密工學研究所

*** 横濱市立大學文理学部

* 1952 年 4 月本會東京大會に發表。

(1) 横山, 松倉, 本誌, B-14 (1950), No. 2, 11.

(2) 松倉, 本誌, 16 (1952)655.

II. 試料および測定方法

本研究に用いた試料は, C 2.11 %, Cr 13.23 %, Mn 0.64 %, Si 0.34 %, P 0.055 %, S 0.013 %, Ni および W なしなる成分を有する高炭素高クロム鋼である。磁氣測定用試片としては直徑 7 mm × 長さ 70 mm の棒狀試片を用い、磁気計法によつて 219 Oe の磁場における磁化の強さを測定した。

III. 實驗結果とそれに対する考察

1. 焼入による諸性質の變化

Fig. 1 は本鋼材試料を 950°, 1050°, 1130° の各温度より油冷および空冷した場合の室温における長さ、硬度、電氣抵抗⁽³⁾ならびに磁化の強さの測定の結果である。なお参考として本鋼材の焼鈍状態における各値をも附記した。圖の長さの變化率の +, - は焼鈍状態を基準としてそれぞれ膨脹、收縮を示すものである。圖より明らかなように油冷、空冷共に硬度、長さの變化、磁化の強さは焼入温度の高温になるにしたがつて減少する。これに對し電氣抵抗の値は焼

(3) これらの結果は脚註 (2) の論文より引用した。

入温度の上昇とともに増す。これらの結果は前報においてすでに説明したように、油冷、空冷においてその効果は大

Fig. 1 Hardness, change of length, electric resistance and intensity of magnetization in the specimens oil- or air-quenched from indicated temperatures.

差なく、ともに焼入温度の高くなるにしたがって残留オーステナイトの量が多くなり、また固溶されている炭化物の濃度の高くなっていることを示すものである。特に 1130° 焼入試料についての磁気測定の結果はほとんど 100% オーステナイトの状態であることを示すものである。

2. 950~1130° よりの空冷による磁化曲線

Fig. 2 Magnetization curves in the case of air-cooling from different temperatures as specified.

Fig. 1 に示したように本鋼材は空冷によつてもほぼ油冷同様の効果が得られることに着目し、焼入過程の磁化の強さの変化を観測する目的をもつて測定した結果が Fig. 2 である。すなわち Fig. 2 は試料を 950°, 1050°, 1130° に 20

分間保持した後室温の状態にある磁場コイル中に挿入し、

500° 附近より空冷による磁化の強さを測定した場合の磁化温度曲線である。圖より明らかなように 950°, 1050° および 1130° より空冷した場合にはそれぞれ 250°, 200° および 40° 附近に Ar' 変態による急激な磁化の強さの増加が見られる。なおいずれの場合においても空冷過程において Ar' 変態に相當する変化は認められなかつた。

3. 950~1130° 油冷試料を 850° まで加熱、冷却した場合の磁化曲線

Fig. 3, 4, 5 はそれぞれ 950°, 1050°, 1130° より油冷した試料を 850° まで加熱、冷却した場合の強さの變化を示す

Fig. 3 Magnetization temperature curves of the specimen oil-quenched from 950°.

てやゝ増し (第 1 段變化), それより温度が上昇するとやゝ減少し 550° 附近より再び磁気量の増加が見られ 700° 附近で最大量に達し (第 2 段變化), それより温度が上昇す

Fig. 4 Magnetization temperature curves of the specimen oil-quenched from 1050°.

ると急激な減少が見られ (第 3 段變化), 800° 以上となるとほとんど零となる。これらの變化において第 2 段變化

Fig. 5 Magnetization temperature curves of the specimen oil-quenched from 1130° .

は明らかに残留オーステナイトの分解に基づく $\gamma \rightarrow \alpha$ 變態を示すものであり⁽¹⁾, 第 3 段變化はこの鋼のキュウリー點に達したため非磁性體となつたためである。第 1 段の變化については明確ではないが, 1130° 油冷試料の 100 % オーステナイト組織の場合にこの變化の現われない事實および前報⁽¹⁾において示した硬度および長さの焼戻による變化および電気抵抗測定結果⁽⁴⁾との比較よりマルテンサイトの分解に基づく變化ではないかと考えられる。Cohen⁽⁵⁾等は焼入れられた 18-4-1 型高速度鋼を焼戻すときの第 1 段變化としてマルテナイトよりセメンタイトが析出することを報告している。また焼入れられた炭素鋼を焼戻す場合にマルテンサイトの分解過程において磁化の強さの増すことは比較的早くから確かめられている。本鋼材は高速度鋼あるいは炭素鋼と同様に考えることはできないがやはりこの第 1 段變化を前述のように考えるのが妥當のようと思われる。次に冷却に際してはキュウリー點において急に磁氣量は増加しそれより温度の降下とともに磁氣量は増して室温に達する。なおこの際に曲線上には冷却に伴う強磁性炭化物の析出を意味するような變化は認められない。

次に 1130° より油冷した試料を焼戻すときの變化 (Fig. 5) においては上に述べたような第 1 段の變化は見られない。これは焼戻状態において前述のようにマルテンサイト組織を含んでいないことによるものと考えられる。その他の變化については Fig. 3 および Fig. 4 の場合と同様に説明せられる。

4. 焼戻による磁化曲線

Fig. 6~8 は 1130° , 1050° , 950° より油冷せる試料につ

(4) 電気抵抗はこの過程で減少する (未發表)

(5) M. Cohen, P. K. Koh, Trans. Amer. Soc. Metals. 27 (1939), 1015.

いて焼戻による變態の様相をしらべるために種々の焼戻條件のもとに磁化の強さを測定した結果である。加熱, 冷却速度はまたいずれも毎分 10° 程度である。

まず Fig. 6 は 1130° より油冷せる試料を 550° に 5 分

Fig. 6 Magnetization temperature curves of the specimen oil-quenched from 1130° , and tempered under different conditions as specified.

Fig. 7 Magnetization temperature curves of the specimen oil-quenched from 1050° and subjected to repeat heating and cooling to and from different temperatures.

および 30 分, 560° , 570° の各温度に 30 分焼戻を行った場合の磁化曲線である。また右側の圖は焼戻温度保持中における變化を示すものである。圖より明らかなようにいず

れの場合においても加熱時においては強さにならば変化は認められない。まず 550° 5 分保持の場合においては保持

Fig. 8 Magnetization temperature curves of the specimen oil-quenched from 950° and subjected to repeat heating and cooling to and from different temperatures.

中においても、また冷却に際してもなれば変化は認められないが同温度に 30 分保持するときは保持時間中にわずかに磁気量の増加が認められ、かつ冷却に際しては 60° 附近より二次 Ar'' 変態と見られる変化が認められる。560° 30 分焼戻の場合には保持中における増加量も大となり、また冷却による増加量も大となり変態点は 100° 附近となる。570° 30 分焼戻の場合にはこれらの変態による磁気の増加量はますます大となり変態点は 300° 附近となる。以上のように焼戻温度が一定なときは焼戻温度の高いほど、また焼戻温度に保持する時間の長いほど変態が進み、かつ二次 Ar'' 変態点は高温にズレることが認められる。

次に Fig. 7 は 1050° より油冷せる試料を焼戻した場合の磁化温度曲線である。まず最初に焼戻せる試料を 550° 5 分焼戻すときは、加熱曲線は圖に示すように Fig. 4 に示した曲線と同様な形をとり、300° 附近に第 1 段変化が見られる。550° に保持中においては $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態によるわずかの磁気量の増加が認められ、これを冷却するときは 100° 附近より二次 Ar'' 変態による急激な増加が認められる。この試料をさらに 560° 5 分焼戻すときは、加熱曲線上最初の加熱において見られた 300° 附近の第 1 段変化はほとんど認められない。このことは第 1 段変化を前にも述べたようにマルテンサイトの分解と考えるとき、焼戻によつて生じたマルテンサイトと焼戻によつて生じたマルテンサイトとの間になんらかの差異のあることを示唆するものである。ついで 560° 保持中においては $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態による増加が認められ、冷却に際しても温度の降下とともに磁

気量は増加し、さらに Ar'' 変態を起すがその変態点は明らかでない。さらにこの試料を 850° まで加熱するときは 600° より磁気の強さの増加すなわと前に述べた第 2 段変化が見られる。これは前 2 回の焼戻によつてもなお残留しているオーステナイトが変態したことを示すものである。さらに 850° まで加熱し、これを室温まで冷却したときの変化は Fig. 4 に示した曲線とは同様である。

次に Fig. 8 は 950° より油冷せる試料について同様の処理を施した場合の磁化曲線である。大體の変化の様子は 1050° 油冷試料の場合と同様であるが、最初の焼戻によつて変態が大いに進み、さらに 2 回目の焼戻によつて未変態の残留オーステナイト量が非常に小となるのが最後の加熱曲線上の 650° 附近の第 2 段変化の甚だ小なることによつて示されている点がやや異なる。なお本圖に示されている 550° 5 分焼戻の場合の磁化曲線を、1130° および 1050° 油冷試料の 550° 5 分焼戻の場合の磁化曲線 (Fig. 6, 7) と比較対照するときは焼戻条件が一定なときは焼戻温度の低い場合ほど、いいかえれば残留オーステナイトの量も濃度も小なる場合ほど $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態の生起が容易であることが了解される。

以上の諸結果はさきに著者等が報告したように過飽和オーステナイトよりの炭化物の析出およびそれにつづく $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態に關して行つた熱膨張計實驗および電気抵抗測定結果とよく一致するものである。

IV. 總 括

高炭素高クロム鋼について種々の熱処理を施した際の磁性の変化を磁力計法によつて測定し、その変化の原因について研究した結果を得た。

(1) 焼戻後の磁化の強さは油冷、空冷共焼戻温度の高くなるほど小となる。特に 1130° 油冷あるいは空冷後においてはほとんど磁性が認められず、100% オーステナイト状態になつたことを示す。

(2) 950° あるいは 1050° より油冷せる試料を加熱するとき、300° 附近において磁化量著しく増加が見られる。1130° 油冷試料においてはこの変化は認められない。

(3) 各焼戻温度より油冷せる試料はともに 700° 附近において磁化の大きな変化が認められる。これは残留オーステナイトの分解に基づく $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態であることはさきに報告した熱膨張計實驗結果などより明らかである。また冷却曲線上には強磁性炭化物などの析出に相當する磁性の変化はなれば認められない。

(4) 焼戻處理に對する磁気の変化の測定結果として、残留オーステナイトの変態は焼戻温度の低い場合ほど容易である。また焼戻温度が同一なる場合は焼戻温度の高い場合ほど、焼戻保持時間の長い場合ほど変態しやすい。これらの結果はさきに著者等が報告したこの鋼材について行つた熱膨張計實驗および電気抵抗測定結果とよく一致するものである。

終りにこの實驗に對し熱心に協力せられた小池榮一郎君に厚く感謝する。