Martensite の焼戻におよぼす Si の影響について (第 2 報)

茨 木 正 雄* 奥 村 俊 邦*

Masao Ibaragi and Toshikuni Okumura : On the Effect of Silicon on the Tempering of Martensite (2nd Report). In order to study the effect of silicon on the tempering of martensite, magnetic analyses were performed. It was demonstrated in these analyses that the starting temperature of the second stage of the tempering was not affected by the silicon contents of steels, but the decomposition of the retained austenite at low temperature became smaller by the addition in steels. Moreover, it was found that the temperature at which the second stage progressed at the maximum velocity in high silicon steels was higher than that in low silicon steels, and, also that the carbides which were precipitated at each tempering stage in high silicon steels were equivalent to the carbides precipitated at the same tempering stages in low silicon steels.

(Received September 14, 1954)

I. 緒 言

著者らは第1報⁽¹⁾において martensite の焼戻が Si によつて如何に影響されるかを調べるために、Si を約 3% ま

で含有する共析組成附近の焼入鋼を焼戻して、硬度の變化および本多式示差膨脹計による伸びの變化を測定した。これらの實驗において 2nd stage に對する Si の影響に關しては次の結果が得られた。

Si 含有量が多くなれば、2nd stage に相當する膨脹量は段々少くなるが、その開始温度は Si 含有量が變つても

* 大阪大學産業科學研究所

(1) 茨木, 奥村, 本誌, 19 (1955), 224.

變化しない。

martensite の焼戻におよぼす Si の影響についてはすでに A. G. Allten & P. Payson⁽²⁾の報告がある。Allten らは 2nd stage の開始温度に對しては 3rd stage と同様 Si によつて高温側にずらされるという見解を持つてゐる。Allten らと著者らとの間に存在するこの見解の相異は、2nd stage の開始温度を見出す方法として著者らは本多式示差膨脹計を用いたのに對し、Allten らは全膨脹計を用いた點に存在するものと考えられる。すなわち Si が鋼に入ることによつて 2nd stage に相當する膨脹量が少なくなるが、著者らの用いた示差膨脹計ではこの膨脹が現われたのに對して全膨脹計ではこれが見出されなかつたのではないかという疑點がある。この點をさらに究明する目的と同時に各焼戻過程に存在する炭化物の性質を見るために磁氣分析を行った。

II. 試料および實驗方法

この實驗に用いた試料は第1報⁽¹⁾の Table 1 の steel No. 3, No. 4, No. 5, No. 6 およびこれらの試料と同じよう

Table 1 Chemical analyses of samples (%).

Steel	C	Si	Mn	P	S
No. 3	0.96	0.231	0.021	0.031	0.03
No. 4	1.01	1.074	0.020	0.038	0.02
No. 5	1.02	1.960	0.032	0.056	0.02
No. 6	1.05	2.942	0.056	0.069	0.02
No. 7	0.91	1.726	0.004	0.016	0.07

Fig. 1 Diagram of circuits for magnetic analysis. (By Courtesy of M. Okada and Y. Arata.)

に、電解鐵より熔製した steel No. 7 である。これらの分析値を Table 1 に示した。磁氣分析用の試料の大きさは 3 mm ϕ $\times$ 60 mm である。この實驗に用いた磁氣分析裝置は、岡田、荒田兩氏⁽³⁾の考案によるもので、その概略を Fig. 1 に兩氏の報告より轉載した。この裝置の詳しい説明はすでに兩氏により報告されているので省略する。Fig. 1 の裝置においては温度の上昇あるいは變態の進行によつて試料 S の導磁率 μ が變化するが、これに相當する起電力の變化をマイクロ・アンメーターにて讀みとつ

た。この裝置における磁場の強さは約 300 Oe である。全實驗中の試料の加熱速度および冷却速度は 4°/min である。

III. 實驗結果

焼戻實驗をはじめる前に豫備實驗として cementite の Curie point が鋼の Si 含有量によつて變るかどうかを調べた。この實驗に用いた試料は Si 含有量がそれぞれ約

Fig. 2 Effect of silicon on the Curie point of cementite.

Fig. 3 Magnetic change on tempering of steels water-quenched from 1050°

0.2%, 1.1%, 2.9% の steel No. 3~No. 6 である。この結果を Fig. 2 に示す。Fig. 2 を見れば鋼の Si 含有量が變つても cementite の Curie point はあまり變化しないということがわかる。

(2) A. G. Allten & P. Payson, Trans. ASM, 45(1953), 498.

(3) M. Okada & Y. Arata, Tech. Repts. Osaka Univ., 2(1952), 223.

次に焼戻実験を行った。Fig. 3 は steel No. 3~No. 6 を 1050° より 40° の蒸留水に焼入した試料について磁気分析を行った結果である。Fig. 3 を見ると、100° 前後における 1st stage の変化はよく現われていないようである。D. P. Antia, S. G. Fletcher & M. Cohen⁽⁴⁾ は鋼の焼戻の場合磁場の強さが弱いときには 1st stage の変化がよく現われないと報告している。著者らの実験では磁場の強さが約 300 Oe であり、この弱い磁場のために 1st stage の変化が現われていないのであろう。約 230° 邊りから何れの試料においても曲線の上昇が急になつている。第 1 報⁽¹⁾に述べた膨脹実験における 230° 邊りの膨脹と對照してこれらは 2nd stage に相當するものと思われる。ただし steel No. 6 の Fig. 3 (d) においてはこの温度範囲における曲線の上昇は極くわずかししか認められなく、290° から 400° にかけて逆に曲線が減少している。これはこの温度範囲における 2nd stage の進行速度が少いのに対し、温度上昇に伴う試料の導磁率の減少が大きいためであると考えられる。

さらに Fig. 3 (d) において 400° より曲線は急激に上昇している。Fig. 3 の (a), (b), (c) の各圖よりわかるように 2nd stage の変化の最大の温度が Si 含有量により高温にずれていることから Fig. 3 (d) の 400° における曲線の上昇は 2nd stage に相當するものと考えられる。Fig. 3 の結果より 2nd stage に関して次のことがわかる。

(1) 2nd stage の開始温度は、Si 含有量が変化しても變らない (2) 開始温度附近における 2nd stage の進行速度は、Si の増加により減少する。 (3) 2nd stage が最大の速度で進行する温度は、Si 含有量によつて高温側にずれる。

Fig. 4 は steel No. 5 を 300° の一定温度に保持してこ

Fig. 4 Magnetic change on tempering of steel No. 5, water-quenched from 1050°.

の温度における残留 austenite の分解を終らしたものである。その後の再加熱において、370° より再び曲線が上昇

している。すなわち Si を含有している鋼ではその残留 austenite の一部は Si を含有していない鋼の残留 austenite の分解温度にて分解するが、その残りの残留 austenite はさらに高温で分解する。

3rd stage においては一般に 1st stage に析出した ϵ -iron carbide が cementite に、あるいは人によつては χ carbide に變態すると考えられている。従つてこの磁気

Fig. 5 Magnetic change on tempering of steel No. 7, water-quenched from 1050°.

分析においては μ A-meter の讀みの減少となつて現われるはずである。Fig. 3(a)~(d) においてはこの減少の開始温度は Si 含有量によつて高温側にずらされている。そしてこれらの開始温度は第 1 報⁽¹⁾の膨脹試験の結果とよく一致している。

次に Si を含有する焼入鋼を焼戻した場合、各焼戻過程においてどのような炭化物が析出するかを見るために C 0.91%, Si 1.726% の steel No. 7 を用いて焼戻実験を行った。この結果を Fig. 5 に示す。Fig. 5 は焼戻の各 stage から常温まで温度を下げてその冷却曲線に carbide の Curie point が現われるかどうかを調べたのである。

この実験結果から次のことがわかる。

(1) 420° 以下の焼戻温度からの冷却曲線には cementite の Curie point は現われない。すなわち 1st stage および 2nd stage 邊りでは cementite は析出しない。(2) 370° からの冷却曲線を見れば、この温度までの焼戻にて析出する carbide の Curie point はかなり高温であることがわかる。このことからこの carbide は ϵ -iron carbide と思われる。(3) 550° からの冷却曲線は cementite と思われる。(4) 460° すなわち 3rd stage が終わった直後からの冷却曲線は cementite よりわずかに高い Curie point を示す。これは χ -carbide の Curie point に相當するものか、あるいは cementite の結晶形が不完全のために普通の cementite より高い Curie point を示すのかどちらかはこの磁気分析ではわからない。

以上各 stage において析出する carbide について述べたことは、Si を含有しない鋼についてはすでに觀察され

(4) D. P. Antai, S. G. Fletcher & M. Coher, Trans. ASM 32(1944), 290.

ていることである。たゞいまの實驗結果と異なるのは温度の點だけである。これは Si が入ることによつて 3rd stage が高温側にずらされたためであつて、各 stage において現われる炭化物は Si が入っていない場合と全然同じものである。これらの炭化物に Si が固溶しているかどうかということは未解決であるが、この分析装置ではこの點を究明することは出来ない。

IV. 結 論

Si を 3% まで含有する共析組成附近の焼入鋼を焼戻した場合の變化を磁氣分析で調べて次の結果を得た。

(1) 2nd stage の開始温度に對する Si の影響は認め

られなかつた。

(2) 2nd stage が大きな速度で進行する温度は、Si によつて高温側にずらされる。

(3) 2nd stage の開始直後における進行速度は Si によつて減少する。

(4) 3rd stage の開始温度は Si によつて高温側にずらされる。

(5) Si を含有する焼入鋼の各焼戻過程において現われる炭化物は、Si を含有しない場合と大體同じであると考えられる。

終りに臨んで、磁氣分析裝置について種々便宜を與えられた岡田實教授ならびに 荒田吉明氏に厚く感謝いたします。