Martensite の焼戻におよぼす Si の影響について (第 1 報)

茨 木 正 雄* 奥 村 俊 邦*

Masao Ibaragi and Toshikuni Okumura : On the Effect of Silicon on the Tempering of Martensite (1st Report). In order to study the effect of silicon on the tempering of martensite, hardness measurement and differential dilatometric measurement were used. It was demonstrated in these experiments that the starting temperatures of the first stage and the second stage of tempering were not affected by the silicon contents of steels, while the starting temperature of the third stage was raised by silicon contents.

On tempering of steels containing silicon, there appears a retardation of softening at the temperature between 200° and 300° and the cause of this phenomenon was discussed.

(Received September 13, 1954)

I. 緒 言

たとえば, Si を約 1.5 % 含有する HY-Iuf steel⁽¹⁾の研究や, Si-Mn-Cr 鋼の研究, あるいは焼入白鉄の黒鉛化の研究において Si が martensite の焼戻に如何なる影響をおよぼすかを調べる必要がある. そこで著者等は Si を約 3 % まで含有する共析組成附近の鋼について硬度試験, 膨脹試験, 磁気分析などの実験を行い, Si が martensite の焼戻の各段階に如何なる影響をおよぼすかを調べた. 第 1 報においては硬度試験, 膨脹試験の結果について報告する.

II. 実験 試 料

この実験に用いた試料の化学組成を Table 1 に示す. steel No. 1 は工業用鋼で, steel No. 2~No. 7 は電解鐵, Fe-Si, 炭素管屑などをタンマン爐にて熔解したものである. 鑄造は 8 mm ϕ $\times$ 80 mm の丸棒に砂型で行った. 各

* 大阪大學産業科學研究所

(1) P. Payson & A. E. Nehrenberg, Iron Age, 16 (1948), Oct. 21.

実験に適する大きさの試料をこの丸棒より切出してグラインダーにて表面を仕上げた. 脱炭しないように試料をダラ

Table 1 Chemical analyses of samples (%).

Steel	C	Si	Mn	P	S
No. 1	0.80	0.236	0.380	0.039	0.12
No. 2	0.71	1.823	0.003	0.015	0.08
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

イ粉に埋めて各実験の焼入温度にて 30 min 間加熱後, 各焼入液に焼入した.

III. 実 験

1. 硬 度 試 験

Si 含有量の低い試料として steel No. 1 (0.80 % C, 0.236 % Si) を, Si 含有量の高い試料として steel No. 2 (0.71 % C, 1.823 % Si) をこの硬度試験に用いた. 試料の大きさは 7 mm ϕ $\times$ 7 mm で, これを 1100° で 30 min 加熱後, 水焼入, 炭酸ソーダの飽和水溶液焼入および油焼

入の 3 種類の焼入を行つた。焼入は 100° より 500° まで、 50° おきの各温度で行い、各焼入温度にて 30 min 保持後空冷して硬度を測定した。硬度の測定は Rockwell C

Fig. 1 Effect of Si on the tempered hardness of 0.8 % C steels. Water-quenched from 1100° .

Fig. 2 Effect of Si on the tempered hardness of 0.8 % C steels. Quenched in the saturated solution with Na_2CO_3 from 1100° .

steel No. 2 の焼戻硬度を見ると、水焼入および炭酸ソーダの飽和水溶液焼入の場合、 $200\sim 300^{\circ}$ の焼戻温度範囲において硬度の減少が停止している。油焼入の場合には、これが $250\sim 350^{\circ}$ に現われている。一方 steel No. 1 においては水焼入および炭酸ソーダの飽和水溶液焼入のときには、この硬度の減少の停止は現われないで、油焼入のときに初めて $200\sim 300^{\circ}$ の温度範囲に軟化の停止が現われている。

水焼入試料において、上述のように Si 含有量が低いときには焼戻温度の上昇とともに漸次硬度が減少するが、Si 含有量が高くなると $200\sim 300^{\circ}$ において軟化が停止するという事実については、すでに Allten & Payson⁽²⁾ が報

告している。これらの軟化の停止がどのような原因によつて起るかを調べるために次の膨脹試験を行つた。

2 膨脹試験

C 含有量が約 1% で、Si 含有量が約 0.2% から約 3% まで順次増加している steel No. 3~No. 6 をこの膨脹試験の試料として用いた。これらの試料を 1050° にて 30 min 加熱した後、 40° の蒸溜水に水焼入した。膨脹計は本多式示差膨脹計を用いた。中性體として steel

No. 3 の焼鈍状態のものをを用いた。加熱および冷却速度はすべて約 $2^{\circ}/\text{min}$ である。

steel N . 3 (0.231 % Si) の実験結果を Fig. 4 に示す。Fig. 4

に見られるように、steel No. 3 の焼戻においては約 60°

告している。

これらの軟化の停止がどのような原因によつて起るかを調べるために次の膨脹試験を行つた。

2 膨脹試験

C 含有量が約 1% で、Si 含有量が約 0.2% から約 3% まで順次増加している steel No. 3~No. 6 をこの膨脹試験の試料として用いた。これらの試料を 1050° にて 30 min 加熱した後、 40° の蒸溜水に水焼入した。膨脹計は本多式示差膨脹計を用いた。中性體として steel

Fig. 3 Effect of Si on the tempered hardness of 0.8 % C steels. Oil-quenched from 1100° .

Fig. 4 Dilation on tempering of steel No. 3 (C 0.96 %, Si 0.231 %).

Fig. 5 Dilation on tempering of steel No. 4 (C 1.01 %, Si 1.074 %).

に見られるように、steel No. 3 の焼戻においては約 60°

調べるために次の膨脹試験を行つた。

2 膨脹試験

C 含有量が約 1% で、Si 含有量が約 0.2% から約 3% まで順次増加している steel

No. 3~No. 6 をこの膨脹試験の試料として用いた。これらの試料を 1050° にて 30 min 加熱した後、 40° の蒸溜水に水焼入した。膨脹計は本多式示差膨脹計を用いた。中性體として steel

No. 3 の焼鈍状態のものをを用いた。加熱および冷却速度はすべて約 $2^{\circ}/\text{min}$ である。

steel N . 3 (0.231 % Si) の実験結果を Fig. 4 に示す。Fig. 4

に見られるように、steel No. 3 の焼戻においては約 60°

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

邊りから収縮が起り、150°邊りでもなお収縮がついてい
る。この収縮は martensite の焼戻の 1st stage に相

Fig. 6 Dilation on tempering of steel No. 5 (C 1.02 %, Si 1.960 %).

Fig. 7 Dilation on tempering of steel No. 6 (C 1.05 %, Si 2.942 %).

当するもので、これは多くの人達によつて α -martensite からの ϵ -iron carbide の析出によるものと考えられている。このまゝ加熱をつければ、この収縮のためにその後の変化がくされるので、この収縮を全部終らすために 150° で一定温度に保持した。約 2 hr ほどでこの収縮がほとんど終る。これよりたゞちに温度を上げれば、温度と伸びの読みとの間に存在するわずかな時間的な“ずれ”が膨脹曲線に影響を與えるかも知れないという疑問があるので、一度温度を常温まで下げ、その後再び温度を上げた。この場合の加熱においては約 185° からわずかな収縮が始まる。この収縮はすでに岩瀬、竹内兩氏⁽³⁾が報告しておられる 170° 變態と同一であると思われる。この収縮が終つて約 230° 邊りから膨脹が起る。これは焼戻の 2nd stage に相當するもので残留 austenite の分解によるものである。その後、約 265° 邊りから急激な収縮が起る。これは焼戻過程の 3rd stage と呼ばれている。

Si 約 0.2 % の steel No. 3 においては焼戻時における各變化の開始温度は上述した通りであるが、Si がこれらの各變化の開始温度に如何なる影響を與えるかを見るために、Si 含有量がそれぞれ約 1.1 %, 2.0 %, 2.9 % の steel No. 4, No. 5, No. 6 を用いて Fig. 4 に行つた實驗と同様な實驗を行つた。これらの結果をそれぞれ Fig. 5,

(3) 岩瀬、竹内、本誌、8 (1944)、490。

Fig. 6 および Fig. 7 に示す。これら圖を見ると 1st stage および 180° 邊りで起る収縮は Si 含有量によつてあまり影響されないようであるが、2nd stage の膨脹は大に影響されることがわかる。まず Fig. 5 に比べて Fig. 4 の膨脹量が少いが、これは Fig. 4 においては 3rd stage の収縮が低温で始まるためにその後の膨脹がかくされるためであらう。次に Fig. 6 および Fig. 7 における膨脹が非

Fig. 8 Dilation on tempering of steel No. 5 (C 1.02 %, Si 1.960 %).

Fig. 9 Effect of Si on the starting temperature of tempering stages.

常に少くなつていることがわかる。これらのわずかな膨脹が残留 austenite の分解によるものかどうかという疑問が起るので、Fig. 6 の steel No. 5 を油焼入して實驗を行つた。その結果を Fig. 8 に示す。一般に油焼入試料は水焼入試料に比べて

残留 austenite が多いということは認められている。

Fig. 6 の 230° 邊りより起る膨脹量が油焼入の場合の Fig. 8 において増加しているのでこれらの膨脹は残留 austenite の分解によるものと考え得る。

以上の實驗結果をまとめると次の事柄がわかる。

(1) 約 60° 邊りではじまる 1st stage の開始温度およびその量に對する鋼の Si 含有量の影響は認められなかつた。(2) 180° 邊りで起る収縮も 1st stage と同様、Si 含有量にあまり影響されない。(3) 220~230° で起る 2nd stage においては、その開始温度に對する Si の影響は認められなかつたが、開始温度附近における變態速度は Si によつて相當小さくなる。このことは Si の多い steel No. 5 および No. 6 において、2nd stage が起つてはいるが、その膨脹が極くわずかしき現れないことから推測

される。(4) 3rd stageは Si によつて相當高温側にずらされる。これらの各 stage の開始温度と Si 含有量との關係を示したのが Fig. 9 である。

なお 2nd stage の開始温度に對する Si の影響は認められなかつたということ、および鋼の Si 含有量が多くなれば、開始温度附近における變態速度が減少することは上述の通りであるが、Si 含有量の多い試料においてはこれよりずっと高温側において 2nd stage が相當大きい速度で起る。これは磁氣分析の結果からわかつたのであるが、これについては第 2 報において述べる積りある。

IV. 考 察

硬度試験の結果 Si は鋼の焼戻硬度を増すことを知つた。さらに Si 1.8% の steel No. 2 の水焼入試料においては 200~300° の焼戻温度範圍で硬度の減少が停止していることがわかつた。これの原因を調べるために示差膨脹試験を行つて焼入鋼の焼戻過程に對する Si の影響を調べたが、その結果より前述の 200~300° で現われる硬度の減少の停止の原因は次のようなものであると考えられる。Si 含有量が少い場合にはすでに 260° 邊りの低温で 3rd stage が始まる。従つて 300° 邊りでは、3rd stage がどんどん進行しているところで、硬度試験の時のように、この温度で 30 min 間も保持したのではすでに 3rd stage も終り、焼戻の終期にあると考えられる。従つて硬度も相當落ちていと想像される。これに對して Si 含有量が多いときには、1st stage および 2nd stage の開始温度は Si の低い場合と同じであるが、3rd stage は Si のために相當高温側にずれる。従つて 300° 邊りでは未だ 2nd stage

が進行しているところで、3rd stage は未だ起つていないから、硬度の減少ということは考えられない。一方焼戻温度が上るとたとえ 3rd stage が始まらなくても stress relief, 析出物の分布状態の變化などのため硬度の減少が期待される。これらの総合的な結果として Si が高い場合には 200~300° において軟化の停止が現われると考えられる。

Si 含有量が低い場合には前述のように比較的低温で 3rd stage が起るために硬度がはやく減少するが、油焼入の時のように残留 austenite が多ければこの分解による硬度の増加が 3rd stage 邊りの軟化と balance して Si 含有量が低い時でも、200~300° の温度範圍で軟化のゆるやかな部分が現われる (Fig. 3 参照)。

V. 結 論

共析組成附近の鋼に Si を約 3% まで加えて硬度試験および示差膨脹試験を行つた結果をまとめると次のようになる。

- (1) Si は鋼の焼戻硬度を増し Si が多いときには 200~300° の焼戻温度範圍において軟化がとまる。
- (2) Si は鋼の焼戻過程の 1st stage および 180° 邊りで現われる収縮の開始温度およびその量には影響を與えない。
- (3) 2nd stage の開始温度は Si 含有量が變つても變化しないが、この温度附近における變態速度は膨脹曲線から見れば減少しているようである。
- (4) 3rd stage は Si によつて高温側にずらされる。