

黒鉛鋼に関する研究 (第5報)*

Fe-C-Si 系黒鉛鋼の熱処理 (その1)

佐藤 知雄** 戸谷 三郎***

Tomo-o Sato and Saburô Toya : Study on Graphitic Steel (5th Report). Heat-treatment of Graphitic Steel of Fe-C-Si System (Part 1). Fully and partially pre-graphitized graphitic steels belonging to the Fe-C-Si system were subjected to some experiments on heat-treatment and the following results were obtained ; In fully pre-graphitized steel containing about 1.5% C and 1.5% Si, the period for resolution of graphite into austenite up to saturation at 850° is about 20 min, and in partially pre-graphitized same steel, it is about 10 min. The quenching hardness of this steel varies with the distribution of graphite particles, that is, with the increase of the number of graphite particles the quenching hardness decreases. The hardenability of graphitic steel of this system increases with Si content, but decreases with C content.

(Received September 9, 1957)

I. 緒 言

前3報⁽¹⁾においては、黒鉛鋼の焼鈍による炭化物の黒鉛化におよぼす各種合金元素の影響について報告した。しかし黒鉛鋼をピストンリング、ダイスなどに使用するにあつては、黒鉛化焼鈍によつて黒鉛を発生させた後、機械的強度および耐磨耗性を向上させるために、焼準、炭化物の球状化処理または焼入れ焼戻しの熱処理を行わなければならぬ。

黒鉛鋼はいずれの場合も黒鉛化焼鈍によつて大部分のセメントイトが黒鉛化し、基質は低C鋼と同一組成になつておるため機械的性質は悪く、また工具鋼として用いる場合通常の焼入では、オーステナイトのC固溶量が充分高くないために焼入れ硬度が低い。

よつて予め焼準を行うか、または焼入れに際し変態点以上の温度に一定時間保持して黒鉛をオーステナイト中に溶解拡散させ、そのC濃度をほぼ共析量とすることが必要である。

焼鈍黒鉛のオーステナイトへの再溶解についての従来の研究は主として可鍛鑄鉄についてのものであり、黒鉛鋼の如き過共析鋼についての報告は殆んど見るべきものがない。また滲炭の場合に起るCの溶解拡散とはその状態が異なるものと考えられる。

本研究はまず黒鉛鋼の基本であるFe-C-Si系にて1.5% C, 1.5% Siの組成の鋼を予め種々なる条件で黒鉛化焼鈍し、黒鉛+フェライト および 黒鉛+フェライト+パーライトの組合せの組織をもつ試料を作製し、これらを変態点以上の温度に加熱保持して、焼鈍黒鉛をオーステナイトへ溶解拡散せしめ、均一オーステナイトを得るに要する時間を測定した。

さらに同一組成の黒鉛鋼においても黒鉛粒の分布状態に

より焼入硬度が異なるにより、焼入硬度と黒鉛粒分布の関係を求めた。さらに1.0~1.5% C, 1.0~2.5% Siの組成範囲において、黒鉛鋼の焼入性および焼入硬度におよぼすC, Siの影響について実験した。

II. 試料の製作

本実験に用いた試料は、前報告におけると同様に1.3% C スエーデン鋼、フェロシリコン、純鉄および予め熔製した純白銑を原料とし、高周波誘導電気炉にて塩基性熔解をなし、40×40×200 mmの鋼塊に鑄造した。

これらの鋼塊を鍛造して12 mm φの丸棒となし、前報⁽¹⁾と同様にして黒鉛化焼鈍した後、10 mm φ×40 mmの試料に施削作製した。

Table 1 に試料の化学組成ならびに焼入温度、焼入硬度を示す。Nos. 1~4 の試料は約1.2% CにてSi量を変化させたもの、No. 5 は1.3% C, No. 6, 7は約1.5% CにてSi量を変化させたものである。なお試料 No. 1 は黒鉛鋼ではなく、比較のため低Siのものを加えた。

Table 1 Chemical composition, quenching temp. and hardness.

Specimen No.	1*	2	3	4	5	6	7
C %	1.18	1.14	1.15	1.18	1.30	1.47	1.46
Si %	0.30	0.99	1.73	2.55	1.63	0.98	1.49
Quenching temp. (°C)	800	840	870	875	850	850	850
Quenching hardness (Rc)	64	63	61	60	60	59	59

* Not graphitic steel but plain tool steel.

III. 熱処理実験結果

1. 焼鈍黒鉛のオーステナイトへの再溶解時間

本実験には試料 No. 7 を用いた。予め黒鉛化焼鈍により析出黒鉛量の異なる試験片を作製し、これを再加熱して各試験片について焼鈍黒鉛のオーステナイトへの再溶解時間を測定した。

再溶解時間の決定は850°に保持した熔融塩浴中にて種々の時間加熱後、水焼入れを行つた試料につき黒鉛量を分

** 東北大学工学部金属工学科

*** 日本飛行機株式会社品質管理部
1956年月4本会東京大会に発表

(1) 佐藤, 戸谷: 本誌, 20(1956), 5:239;297.

折して求めた。加熱温度は試験片の中心部に挿入した熱電対により測定し、保持時間は中心部が 850° に達してから 0~100 min とした。これらの試片につき焼入硬度および顕微鏡によるマルテンサイト量を併せて測定した。

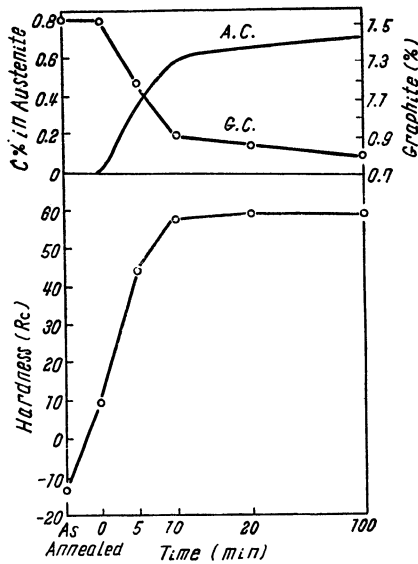


Fig. 1 Quenching hardness and carbon content in austenite of perfectly pre-graphitized No. 7 steel due to resolution of graphite in it at 850°.

以上の測定結果を Fig. 1 および Fig. 2 に示す。Fig. 1 は黒鉛化焼鈍にて完全に黒鉛化し、黒鉛とフェライトのみの組織をもつ試験片についての測定結果であり、Fig. 2 は焼鈍にて一部パーライトが残留する組織(化合 C 量約 0.2%) の試験片についての測定結果である。

Fig. 1 の示すように再加熱前の組織が黒鉛とフェライトのみの場合には、加熱時間約 20 min で焼入硬度 Rc 59、オーステナイトの C 量約 0.65% となつておる。この C 量は 850° におけるこの鋼のオーステナイトの黒鉛飽和量と考えられる。またパーライトが残留する試験片においては Fig. 2 が示す如く、加熱時間約 10 min で焼入硬度 Rc 62、

オーステナイトの C 量約 0.67% にて飽和値に達しておる。

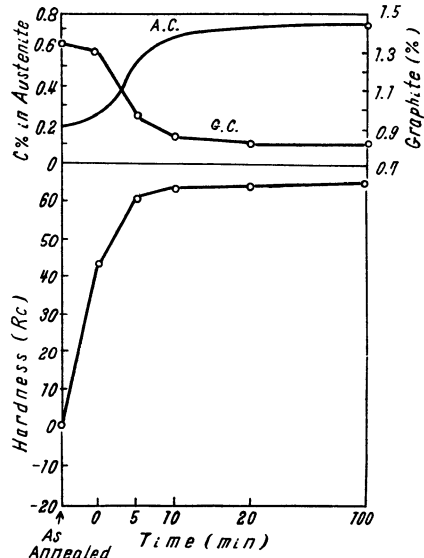
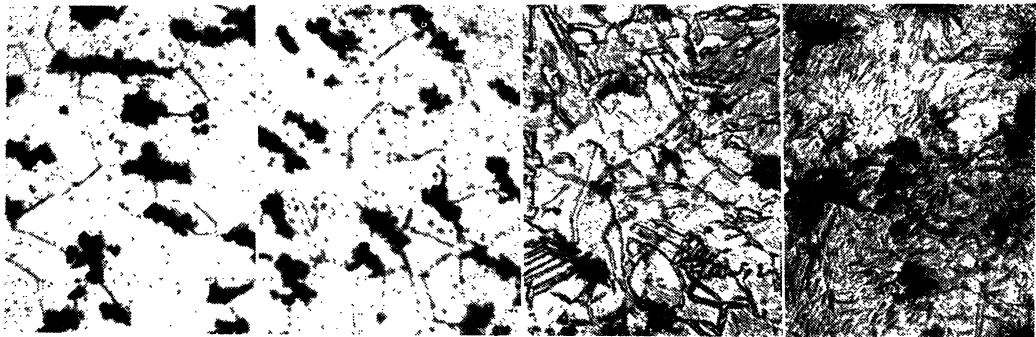


Fig. 2 Quenching hardness and carbon content in austenite of partially pre-graphitized No. 7 steel due to resolution of graphite into it at 850°.

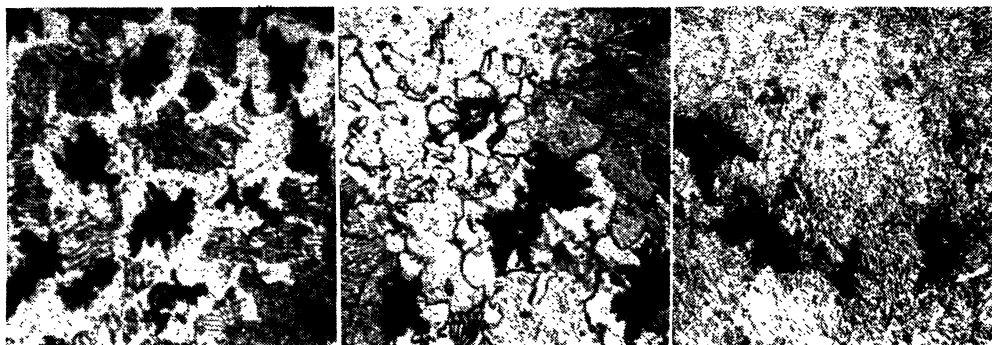
Photo. 1 および Photo. 2 はオーステナイトへの C の溶解状態を示す顕微鏡組織である。Photo. 1 (No. 1~4) は Fig. 1 の実験に相当し、Photo. 2 (No. 1~3) は Fig. 2 の実験に相応するものであつて、No. 1 は共に焼鈍状態の組織であり、No. 2 は加熱して焼入温度 (850°) に達したとき直ちに焼入 (加熱保持時間 0) した組織で、未だ C は拡散を開始しておらぬと見るべきものである。

しかし No. 3 (加熱保持時間 5 min) では C はオーステナイトにかなりの量が溶解しておることが知られる。すなわち Photo. 1 においては焼鈍黒鉛の周囲にマルテンサイトを発生しており、また Photo. 2 においては基質は全部マルテンサイト組織になつておる。ただしこの写真からマルテンサイトは全部均一な C 量には達しておらないと推定さ



No. 1 Completely annealed. No. 2 Quenched from 850°, not kept at that temp. No. 3 Quenched from 850°, after kept for 5min at that temp. No. 4 Quenched from 850°, after kept for 10 min.

Photo. 1 Change of microstructure due to resolution of graphite into austenite at 850° on perfectly pre-graphitized No. 7 steel. ×500



No. 1 Annealed

No. 2 Quenched from 850°, No. 3 Quenched from 850°, after
kept no time at that temp. kept for 5 min at that temp.Photo. 2 Change of microstructure due to resolution of graphite into austenite at 850° on
partially pre-graphitized No. 7 steel. ×500

れる。

Photo. 1-No. 4 (加熱保持時間 10 min) は Photo. 2-No. 3 とほぼ同一のマルテンサイト組織を示し、マルテンサイトの C 量は未だ均一化されておられない。従つて写真はフェライト+黒鉛の焼鈍試料では約 20 min, フェライト+黒鉛+パーライト組織では約 10 min の加熱によつてオーステナイトは黒鉛について飽和すると考えられ、Fig. 1 および 2 の結果と一致する。

またオーステナイトへの C の拡散状態を見ると、焼鈍黒鉛を中心として球状に拡散するものより、オーステナイトの結晶粒界に沿うて拡散するものの方が多いようである。

2. 焼入硬度と黒鉛分布の関係

以上の測定結果から知られるように、Fig. 1 における 20 min 加熱と Fig. 2 における 10 min 加熱とでは、ほぼ同じ C 量である均一なマルテンサイト組織を得ておるが、両者の焼入硬度は Rc 59 および 62 であつて、やや異なり、また同 C 量の炭素鋼の焼入硬度に比較して低い。この原因は含有する黒鉛の分布状態によるものと考えられる。

これを確かめるために次の実験を行った。すなわち試料 No. 7 を用い、950°、3 hr の黒鉛化焼鈍をなした後、種々の冷却方法により冷却速度を変えて黒鉛分布のそれぞれ異なる試験片を作製し、各試験片について焼入を行い、焼入硬度、黒鉛量および黒鉛粒数を測定して、焼入硬度と黒鉛分布の関係を求めた。Table 2 はこの測定結果を表示したものである。

Table 2 Effect of graphite distribution on quenching hardness.

Graphitization annealing and cooling rate	950°×3 hr 50°/hr cooled	950°×3 hr 10°/min cooled	950°×3 hr Air cooled	As Forged
Amount of graphite (%) (annealed state)	1.46	1.43	1.33	0.16
Number of graphite particles (×10 ³ /mm ²) (annealed state)	4.8	3.6	2.9	1.0
Quenching hardness (Rc)	59	60	62	65
Number of graphite particles (×10 ³ /mm ²) (quenched state)	4.8	3.7	3.4	2.2

以上の結果によると焼鈍状態において黒鉛粒数の多いものは黒鉛量も多く、また焼入後においても黒鉛粒数はほとんど変化がない。これは試験片を焼入温度に保持しても、一旦黒鉛が発生した部分は、黒鉛がオーステナイトに溶解した後も空孔となつて残存し、これが顕微鏡的に黒鉛粒として誤つて数えられるためと考えられる。しかし黒鉛化処理の如何によらず、この場合焼入時にはオーステナイトの C 量は平衡状態に達しておるため、焼入後のマルテンサイトの C 含有量は同一であり、従つてその焼入硬度は同一値のはずであるが、試料全体としての焼入硬度が異なるのは、焼鈍時の黒鉛分布状態によるものであつて、黒鉛粒数の多いほど焼入硬度は低い。その理由は焼入のための加熱によつて黒鉛がオーステナイトに溶解した後の空孔の数が多いためであろう。よつて黒鉛鋼の使用に当り、高い焼入硬度を必要とするときは、黒鉛化焼鈍後の冷却速度を空冷程度に速かとして、黒鉛粒数をあまり多くしないことが望ましい。なお焼入前に黒鉛粒数の比較的少い試片においては、焼入後返つて粒数が増加しておるがその理由は明らかでない。

3. 焼入温度と焼入硬度の関係

前節において黒鉛粒数と焼入硬度の関係を求めたが、本節では焼入温度を変えることにより、オーステナイトの C 固溶量を変化させ、これが焼入硬度におよぼす影響を求めた。

試料としては No. 7 の完全黒鉛化試片を用い、850~1000° の各温度に 30 min 加熱保持した後、水焼入を行いその硬度を測定した。その結果を Table 3 に示す。これによれば焼入温度がこの程度上昇しても、焼入硬度におよぼす影響は極めて少い。しかし強いてわずかな硬度低下の理由を考えれば、オーステナイト中の C 量が若干増加して残留オーステナイト量を増したことで、黒鉛の溶解による空孔の増加によるものであろう。

Table 3 Effect of quenching temp. on hardness of No.7 steel.

Quenching temp. (°C)	850	900	950	1000
Quenching hardness (Rc)	59	59	58	57

4. 焼入性におよぼす C および Si の影響

焼入性におよぼす C および Si 量の影響を求めめるために、各試料の焼入時の上部臨界冷却速度を測定した。測定および上部臨界冷却速度の決定は著者等⁽²⁾がさきに報告したと同じ方法を用いた。

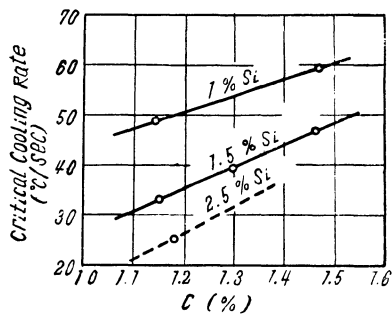


Fig. 3 Effect of C and Si contents on upper critical cooling rate of graphitic steel.

は Si 量が一定であればオーステナイト中の C 量は一定

(2) 佐藤, 真野, 戸谷, 苫米地: 本誌, 19(1955), 177.

であり、鋼の C 量によつて未溶解黒鉛量のみが異なる。この黒鉛は熱の不良導体であるから未溶解黒鉛量の多いもの、すなわち C 量の多い鋼は焼入性が低いと考えることが出来る。

IV. 結 言

Fe-C-Si 系黒鉛鋼について実験し次の結果を得た。

(1) 1.5% C, 1.5% Si の黒鉛鋼を黒鉛化焼鈍して、予めフェライト+黒鉛 および フェライト+黒鉛+パーライト組織の 2 種類の試片を作り、これらを再加熱して焼鈍黒鉛がオーステナイトへ溶解し、均一な C 量の飽和オーステナイトとなるに必要な時間を求めた。前者の組織では約 20 min, 後者では約 10 min であつた。

(2) 黒鉛鋼の焼入硬度は主として黒鉛粒の分布状態によつて異なる。黒鉛粒数の多いものは焼入硬度が低い。これは黒鉛がオーステナイトへ溶解した後の空孔が多いためと考えた。

(3) 黒鉛鋼の焼入性におよぼす C, Si の影響を実験し、Si 量の増加は焼入性を向上させ、C 量の増加はこれを低下させることを知つた。

終りに臨み、本研究に対し種々有益なる助言と協力をいただいた東北大学助教授金子秀夫博士に対し厚く感謝する。また実験上助力された小林淳元工学士の労を多とする。

なお、本研究は文部省科学研究費による総合研究「特殊鋼中の炭化物の挙動に関する研究」の一部である。