

(185) 黒鉛鋼の生長に関する研究

北海道大学工学部 工博 長岡金吾
 " " " " " " 〇竹内茂
 北海道立工業試験場 飯塚正弘

Study on the Growth of Graphite Steel.

Dr. Kingo NAGAOKA, Shigeru TAKEUCHI and Masahiro IIZUKA.

1. 緒言

黒鉛鋼はいろいろの用途において実用的な重要性を加えているが、黒鉛鋼に関する研究は、それが従来よく知られている鋼と鋳鉄の中間的な鉄鋼材料であるために、金属学的な意義もある。とくにこの鋼には二重状態図が適用され、高珪素であるから、鋳鉄に関する知識の応用される面が多い。黒鉛鋼の生長の問題はその一例である。著者らは、鋳鉄の生長は加熱冷却による基質への黒鉛の溶解と再析出に伴う見掛けの膨張である¹⁾²⁾と考えるが、黒鉛鋼の生長については、全く同じ概念が適用しうる。しかも黒鉛鋼の生長が確かめられるならば、鉄鋼材料は、その組織に黒鉛を含む場合には、加熱冷却によって生長する可能性があるという結論が導かれる。

2. 実験要領

黒鉛鋼は成分、製法などにより種類が多いが、本研究においては、炭素量と珪素量の異なるほかは合金元素を含まない5種の鋼を試料に用いた。珪素量は熱処理による黒鉛化を考慮して、炭素量に応じて変化させた。黒鉛鋼の生長に関する研究は、きわめてその例が少ないので方法その他は鋳鉄の場合にならって実験を行なった。実験の目的はまず、黒鉛鋼が生長する事実を確かめることにおき、同時に熱膨張曲線についてその変化を検討する方法をとった。熱膨張試験装置は理学電機製自記式熱膨張計を用いた。試料は鋳鉄と鋼屑を原料として、真空管式高周波誘導炉によって 1460°C ~ 1480°C で 35min 間溶解した後 20×50×300mm の乾燥鑄型に鑄造したもので、特殊成分を含まない黒鉛鋼である。その化学成分は Table 1 に示すごとくである。なお溶製および分析は、日本製鋼室蘭研究所においておこなわれた。熱膨張試験片は直径 5mm、長さ 35mm の丸棒で、その底部に温度測定のため熱電対を入れる直径 1.8mm の小孔を穿つた。実験温度範囲は、600°C ~ 950°C の間で、大略 10°C ~ 12°C/min の速度で繰返し加熱冷却した。なお実験は 10⁻⁴ ~ 10⁻³ mmHg の真空中でおこなった。

3. 実験結果および考察

3.1 生長曲線

黒鉛鋼の試料 No. 1 から No. 5 までを繰返し加熱冷却し、5 サイクルごとに室温まで冷却した後に試験片

の長さをマイクロメーターによつて測定した。加熱回数 25 回までの実験により Fig. 1 のごとき生長曲線が得られた。

黒鉛鋼はいずれも真空中における繰返し加熱によつて顕著に生長する。化学成分の異なる試料の生長を比較すると、加熱回数が少ない 5 サイクルの生長は、黒鉛鋼 No. 3 が最大で、No. 1、No. 2 がほぼ同じ生長量でこれに次ぎ、No. 4、No. 5 の生長が最も少ない。10 サイクルにおいてもだいたいこの関係が保たれた。しかるに 15 サイクルになると、No. 4、No. 5 の急激な生長が認められ、No. 1、No. 2 および No. 3 は逆に生長傾向が低減した。その結果 No. 3、No. 4 および No. 5 がほぼ同じ生長量となり、つづいて No. 2、No. 1 の順になった。さらに 20 サイクルでは、各試料の生長は最小の No. 1 から最大の No. 5 まで試料番号の順になつた。この番号は炭素量順序に一致する。25 サイクルの繰返し加熱による生長では No. 4 を除くとこの関係がさらに明瞭になつたが、No. 4 のみはこの間に急激な膨張が生じて、最大値を示した。

この実験においては、鑄造のまま黒鉛化処理をしていない試料を所定の熱サイクルで繰返し加熱したので、その間に黒鉛化膨張と、加熱冷却による生長とが併せて

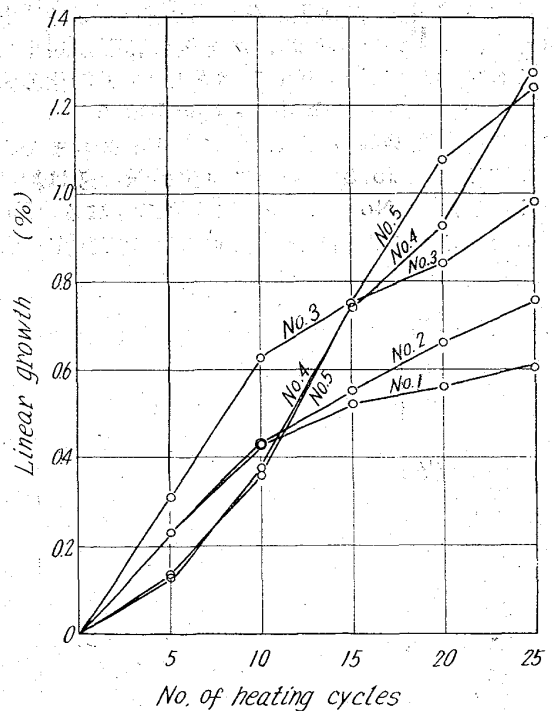


Fig. 1. Growth characteristics of graphite steels.

Table 1. Chemical compositions of specimens.

Graphitic steel	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo
No. 1	1.02	2.47	tr.	0.003	0.006	tr.	tr.	tr.	tr.
No. 2	1.25	2.04	tr.	0.003	0.006	tr.	tr.	tr.	tr.
No. 3	1.48	1.53	tr.	0.003	0.006	tr.	tr.	tr.	tr.
No. 4	1.65	1.28	tr.	0.003	0.006	tr.	tr.	tr.	tr.
No. 5	1.98	1.10	tr.	0.003	0.006	tr.	tr.	tr.	tr.

進行する。したがって、黒鉛化傾向と黒鉛化後の生長特性が問題になる。黒鉛鋼 No. 4, No. 5 が加熱回数の少ない間に生長が少ない理由は、これらの鋼では黒鉛化の進行が初期におそいためであつて、10サイクルから15サイクルの間の著しい膨張は、黒鉛化によると考えてよい。No. 1, No. 2 および No. 3 では黒鉛化が早期に完了して、その後は加熱冷却による生長がおこつたのである。各黒鉛鋼の黒鉛化傾向を 950°C に加熱して恒温膨張量で比較した結果は、生長曲線に対する以上のような理解に完全に一致した。すなわち、黒鉛鋼 No. 1, No. 2 および No. 3 は 950°C までの加熱中に黒鉛化がほぼ完了したが、No. 4, No. 5 の試料では、ある時間の黒鉛化潜伏期をおいて膨張が緩慢に開始した。なお No. 4 は20サイクルの後にさらに著しい生長がおこっているがこの試料についてはさらに成分、組織などについて検討しなければならない。

次に黒鉛鋼 No. 3, No. 4 および No. 5 をあらかじめ黒鉛化させる目的で 950°C に恒温加熱した後に、まえの実験と同じ熱サイクルで加熱を繰返した。その結果は Fig. 2 に示すごとくである。黒鉛鋼 No. 3 は 3 hr の保持であるが、昇温中に黒鉛化の大部分が完了するために、保持中にはほとんど膨張しなかつた。No. 4 は 7.5hr 保持したが、これもほとんど変化しなかつた。しかし No. 4 の場合には黒鉛化の潜伏期が保持時間の大部分を占めたものと思われ、冷却後の膨張が最小であつた。これに対して試料 No. 5 は著しい黒鉛化膨張がおこつたので、潜伏期を含めて保持時間は 5.5 hr で冷却した。この実験結果を Fig. 1 の 5 サイクルまでの生長と比較すると、No. 3 の場合には生長量の差は約25%増である。しかし No. 5 の場合は5倍にもなる。No. 4 で約3倍である。この結果から実験によつて測定された生

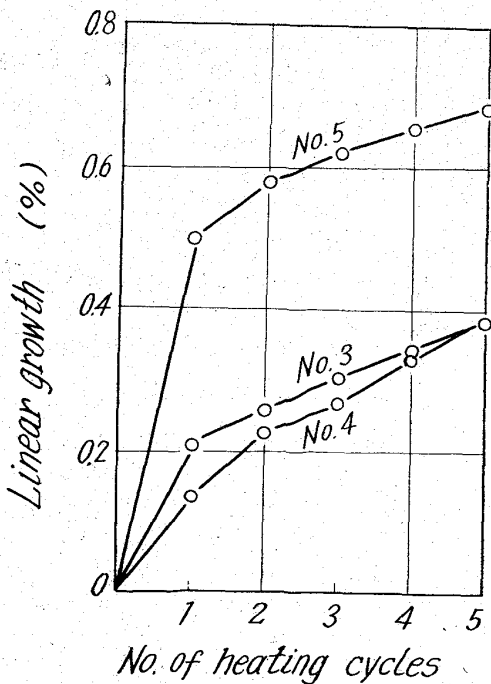


Fig. 2. Growth of steels graphitized by cyclic heating.

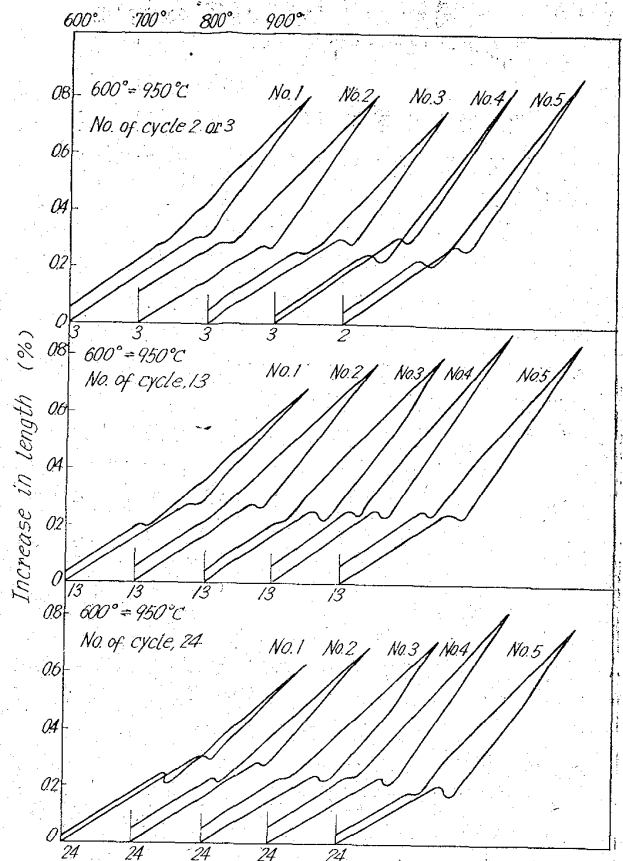


Fig. 3. Dilatometer curves of graphite steels.

長量には黒鉛化膨張が含まれるが、さらに黒鉛化が完了したのちに繰返し加熱による生長がつづくことが明らかになった。

3.2 熱膨張曲線

繰返し加熱のあいだの熱膨張曲線を25サイクルまでの実験範囲における初期、中期および後期で比較してFig. 3に示した。これらから知られる諸点をあげると次のごとくである。

- (1) 熱膨張曲線は繰返し加熱によつて変化し、これから生長傾向がうかがわれる。
- (2) 熱膨張率は Table 2 のごとく変化する。とくにオーステナイト域の加熱における熱膨張率に著しい変化がおこる。
- (3) オーステナイト域の熱膨張率には材質の影響があると認められた。
- (4) 低炭素の黒鉛鋼 No. 1, No. 2 および No. 3 の冷却変態の膨張は加熱変態による収縮より一般に小である。
- (5) 冷却変態の膨張量は繰返し加熱回数が増すにしたがつて減少するが、再び増大する傾向が認められる。高炭素黒鉛鋼 No. 4, No. 5 は実験の加熱サイクルの後期において冷却変態の膨張量が減少する傾向がある。
- (6) 一般に加熱変態による収縮が明瞭にあらわれるにもかかわらず、冷却変態において膨張の生じない曲線が得られた。

以上の諸点は、黒鉛を含む鑄鉄の熱膨張曲線に対比して考察すべき問題であり、球状黒鉛鑄鉄について変態に

Table 2. Average rate of thermal dilatation. ($\times 10^{-6}$)

Region	Specimen	5 cycle	10 cycle	15 cycle	20 cycle	25 cycle	Average
Austenite region	No. 1	31.0	—	23.4	23.1	21.2	24.9
	No. 2	31.0	—	28.2	22.5	21.8	25.9
	No. 3	—	29.2	31.0	30.5	31.0	30.4
	No. 4	31.8	36.2	35.2	35.0	35.2	34.7
	No. 5	36.5	38.2	36.4	34.2	33.0	35.7
Subcritical region	No. 1	14.6	—	16.1	14.5	15.5	15.2
	No. 2	14.4	—	15.0	14.6	14.9	14.7
	No. 4	—	13.2	14.8	13.3	13.0	13.7
	No. 3	15.0	16.5	15.0	14.4	14.4	15.1
	No. 5	17.1	15.5	16.0	14.9	14.9	15.7

おける膨張収縮の消失が著者の一人によつて報告されている³⁾が、冷却変態の膨張のみが消失する事例については、黒鉛鋼の実験における新しい観察であつて、さらに検討すべき問題である。

3.3 顕微鏡組織

実験に用いた黒鉛鋼は鑄造のままでは黒鉛が析出していない。その後の加熱によつて黒鉛化が進むが、繰返し加熱によつてさらに黒鉛と基質に変化が生ずる。950°Cの恒温加熱により黒鉛化した後の試料によれば、黒鉛核数は No. 1 より No. 2, No. 3 と増加するが、No. 4 はきわめて少なく、No. 5 は No. 3 と同じ程度に多い。これは成分により黒鉛化傾向に関係があると思われる。25回繰返し加熱した後の生長した黒鉛について観察した結果の要点をあげると次のごとくである。

(1) 試験片中心部の基質は、No. 1, No. 2 は概ねブルアイ組織であるが、No. 3 は黒鉛の周辺にフェライトの析出が少ない。No. 4 にはセメントイトが多量に認められる。しかし No. 5 はパーライトとフェライトの組織である。

(2) 試験片の周辺では、いずれもパーライト質になり、フェライトの析出がほとんどない。

(3) 黒鉛数は No. 1 が最小であり、No. 2 が最も多い。No. 2 は核数が多いが、黒鉛寸法はきわめて小である。

(4) 黒鉛の形状は、一般に輪郭が不規則である。また微小の黒鉛が加わつて、黒鉛粒子が不揃いである。

以上の観察は5サイクルの加熱による組織と比較して明瞭であるが、さらにこれらの変化の追跡が必要であろう。とくに No. 4 についてはこの結果のみからいうと、セメントイトが増加したといわなければならない。

4. 結 言

黒鉛鋼を真空中で生長試験を行なつた結果、次のごとき結果が得られた。

(1) 黒鉛鋼は生長し、その生長量は炭素量の多いほど大になつた。

(2) 繰返し加熱冷却中に黒鉛化膨張が完了した後も生長が継続する。

(3) オーステナイト域の膨張率は、試料および加熱回数によつて著しい変化が認められた。高炭素の黒鉛鋼ほどその値が大あつた。

(4) 繰返し加熱冷却を継続すると、一般に冷却変態の膨張量が減少し、再び増加する傾向が認められる。

(5) 生長試験後の顕微鏡組織には、黒鉛粒数と形状に変化が認められた。

文 献

- 1) 長岡: 鑄物, 34 (1962) 9, p. 54
- 2) 長岡: 鉄と鋼, 50 (1964) 5, p. 773
- 3) 長岡: 鉄と鋼, 39 (1953) 11, p. 1250

(186) 高純度砂鉄銑を原料とする高炭素 Cr-Mo 鋼および Cr-Mo 鑄鉄の熱間加工性について

(高純度砂鉄銑を原料とする各種鉄鋼の性質—II)

日曹製鋼, 富山工場

工博 佐藤祐一郎・○松倉 清・松田茂信

Hot Workability of High Carbon Cr-Mo Steels and Cr-Mo Cast Irons Made from High Purity Iron Sand Pig.

(Properties of several kinds of iron and steels made from high purity iron sand pig—II)

Dr. Yūichiro SATŌ, Kiyoshi MATSUKURA and Shigenobu MATSUDA.

1. 緒 言

前報¹⁰⁾において、著者らは高純度砂鉄銑を原料とする鍛造した高炭素 Cr-Mo 鋼および Cr-Mo 鑄鉄の諸性質について調査した結果、これらの鍛造した鉄鋼は鉄鋼材料としてすぐれた諸特性をもち、とくに機械的性質がすぐれていることを報告した。

しかし、これらの鉄鋼はC含有量が高く、高温における組織がオーステナイトおよびセメントイト [(Fe, Cr)₃C]あるいは微小黒鉛の共存する組織であるため、熱間加工がはなはだ困難とみなされる。事実、この推察はこの種の鉄鋼の鍛造作業面でよく経験するところである。

本報では高純度砂鉄銑を原料とする高炭素 Cr-Mo 鋼および Cr-Mo 鑄鉄について鑄塊、均質化処理材および熱間加工材の高温変形能に関する調査結果を報告する。

2. 供試材および実験方法

2.1 供試材

試料はすべて高純度砂鉄銑を原料として、12 t 塩基性