急速加熱冷却繰返しにより亜共析炭素鋼の 初析フェライトに析出した微粒 セメンタイトについて*

三 浦 寛** 大 内 康 弘**

Hiroshi Miura and Yasuhiro Oouchi : On the Fine Spherical Cementite Precipitated in the Proeutectoid Ferrite of the Hypoeutectoid Plain Carbon Steel by Quick Thermal Cycling. Changes in the microstructure of hypo-eutectoid plain carbon steel by quick thermal cycling below A_{c1} were investigated. The specimen of solid bars 6 mm in diameter were subjected to a repetition of rapid heating and cooling in the air under no loads. The period of the thermal cycle was 60 sec and the maximum temperature was 690°C.

The results of obtained were as follows:

- (1) Lamellar pearlite was spheroidized in the pearlite colony by increasing the thermal cycling.
- (2) Very fine spherical cementites were precipitated in the proeutectoid ferrite by the water cooled thermal cycling.
- (3) These fine spherical cementites were dispersed in the proeutectoid ferrite and their diameters were about 0.3 micron. The number of the fine spherical cementite was increased by increasing the cooling rate and the thermal cycling.

(Received October 11, 1965)

I. 緒 言

鉄鋼材料の加熱冷却繰返しに関する技術的試験および基礎的研究は比較的早くから行なわれてきたが、いずれも特定の工業設備またはその要素を対象としているため実験方法が多岐にわたっている。基礎的研究としては Rodeker⁽¹⁾ (2), Coffin^{(3)~(6)}, Morthcott^{(8) (9)}, 渡辺^{(10) (11)}, 藤原^{(12) (13)}, などの報告があるが、これらの研究で用いられた試験片および加熱冷却条件は各研究者により独自なもので、これらの間の関連性があまりない。このため従来の研究結果を比較検討することは出来ないが、技術的試験の報告をも含めて概括するとつぎのごとくである。従来の研究は加熱冷却繰返しにより発生するある種の「表面割れ」の形状、数、深さおよび幅または破壊までの寿命に関する最高加熱温度、最低温度、熱応力差、加熱冷却雰囲気および被加熱体の表

面状況などの影響について行なわれていること、また試験材の大部分は高級鋼あるいは高級合金鋼であること、試験片の形状が複雑なものが多いこと、各研究者により加熱冷却条件は独自なものであることなどである。

このように従来の研究はその大部分が機械材料学的に行なわれ、その顕微鏡組織の検討は Lismer と Pickering⁽¹⁴⁾ の鋼塊用鋳型に関する報告を例外として「表面割れ」の外観または「表面割れ」と結晶粒あるいは非金属介在物との位置の関係について行なわれているものが多い。

著者らは加熱冷却の繰返しによる材質変化、とくに顕微鏡組織の変化を詳細に検討し、加熱冷却繰返しによる破壊に対して強い抵抗性を示す金属材料およびその熱処理方法を明らかにすることを最終目的として、急速加熱冷却繰返し試験装置を新たに作製⁽¹⁵⁾し、手初めとして加熱冷却繰返し初期の材質変化を金属組織学的立場から解析を試みようとしているものである。前報⁽¹⁵⁾では単純な形状の試験片を用い、組織の変化しやすい普通炭素鋼3種を A_{c1} 以下の (690°C) まで急速加熱し、圧縮空気にて冷却する加熱冷却繰返しを行なった場合の顕微鏡組織変化と硬度変化に関して実験した。

この報告は冷却が噴水冷却の場合、加熱冷却を繰返した亜共析普通炭素鋼で観察された興味ある顕微鏡組織に関するものである。この組織は最高加熱温度 690°C、最低温度 20°C、周期 60 sec、噴水冷却、無荷重の加熱冷却条件にて加熱冷却繰返しを行なった場合に初析フェライトに析出したきわめて微細な粒状のセメンタイトであり、これまで報告

** 室蘭工業大学 (Department of Metallurgy, Muroran Institute of Technology, Muroran)

* 1965 年 4 月本会東京大会に発表

- (1) W. Rodeker: Stahl u. Eisen, **74** (1954), 924.
- (2) W. Rodeker: Stahl u. Eisen, **75** (1955), 1252.
- (3) L. F. Coffin and R. P. Wesley: Trans. ASME, **76** (1954), 923.
- (4) L. F. Coffin: Trans. ASME, **76** (1954), 931.
- (5) L. F. Coffin: ASTM STP, No. 165 (1954), 31.
- (6) L. F. Coffin: Trans. ASME, **79** (1957), 1637.
- (7) J. F. Tarernelli and L. F. Coffin: ASM, **51** (1954), 439.
- (8) L. Northcott and H. C. Baron: JISI, **184** (1957), 385.
- (9) L. Northcott and H. C. Baron: JISI, **187** (1957), 126.
- (10) 下田, 渡辺: 鉄と鋼, **43** (1957), 996.
- (11) 渡辺: 鉄と鋼, **44** (1958), 381.
- (12) 藤原: 本誌, **20** (1955), 247.
- (13) 藤原: 本誌, **21** (1957), 149, 494, 573.

(14) R. E. Lismer and F. B. Pickering: JISI, **170** (1952), 263.

(15) 三浦, 萩原: 北海道大学工学部報告, **31** (1962), 201.

されたことのない組織である。変態点以下の繰返し加熱がパーライトの球状化を促すことは衆知のごとくであるがその場合に初析フェライトに微細な粒状セメンタイトが生ずることの報告は見当らず、また通常の球状化処理、たとえば変態点付近を徐冷する方法^{(16)~(23)}、変態点直上と直下の繰返し加熱による方法^{(18)(22)~(24)}、恒温変態による方法^{(23)(25)~(27)}、焼入焼戻による方法⁽²²⁾⁽²³⁾⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾などで得られるものと比べ大きさおよび分布状態において格段の相違を示しているので表題のように微粒セメンタイトと略称し、通常の粒状セメンタイトと区別することにした。なお筆者らは加熱冷却繰返しによるパーライトおよびフェライトの変化を定量的に検討することが当初の目的であるので、これらの検討結果もあわせて報告する。

II. 実験方法

急速加熱冷却繰返し試験装置は前報⁽¹⁵⁾と同じ電気抵抗直接加熱方式であり、冷却は圧縮空気、噴霧および噴水冷却のいずれの方法でも出来るように改造し、制御部には発振式の自動温度調節指示計および遅延リレーなどを新たに組み込みほぼ完全な自動制御方式にて加熱冷却の繰返しを行なえるように作製したものである。所定の熱処理後、Fig. 1に示すような試験片平行部の中央に 0.35 ϕ mm のクロメ

Fig. 1 Dimension of specimen.

ルアルメル熱電対を点溶接し、高電流を通じ急速加熱-圧縮水冷却(または他の冷却)の熱サイクルを所定の回数行なった後、測温点横断面中心部の顕微鏡組織およびビッカース硬度を調べた。

顕微鏡組織は検鏡倍率 400 倍および 1000 倍にて各々 15 視野以上写真記録し、ポイントカウンティング法により組織解析を行なった。

供試材は Table 1 に示すような市販の機械構造用炭素鋼 JIS, S 35 C である。850°C $\times$ 1 hr, AC, の焼準後、820°C $\times$ 1 hr, FC の焼鈍を行ない試験片とした。なお試験片符号、

S 35 C, FC は焼鈍時の A_{c1} 付近の冷却速度が 150°C/hr, 試験片符号, S 35 C, FC 50 は 50°C/hr であり、実験目的によりいずれかの 1 種類を用いた。

加熱冷却繰返しの熱サイクルは Fig. 2 に示すごとく周期

Table 1 Chemical composition of specimen.

Composition (%)				
C	Si	Mn	P	S
0.39	0.26	0.68	0.018	0.011

Fig. 2 Thermal cycle of specimen. (schematic)

60 sec, 加熱時間 30 sec, 保持時間 5 sec, 最高加熱温度 690°C, 最低温度 50°C~20°C, 大気中加熱, および所定の冷却方法より成り立ち、いずれも無荷重状態である。加熱速度は 23°C/sec であり、この加熱速度での A_{c1} は 745°C~755°C と測定された。冷却速度は冷却方法および冷却時の各温度により異なるが、690°C~200°C 間の平均冷却速度は噴水冷却(以下 WC と記す)の場合 250°C/sec, 圧風冷却(以下 BC と記す)の場合 40°C/sec 程度であり、詳細については後述する。

本実験のような点溶接した 0.35 ϕ mm の CA 熱電対と自動温度調節指示計を組合せた状態での測温追従速度は 40°C~50°C/sec であり、本実験での加熱速度 23°C/sec では圧縮水冷却の場合の 100°C(蒸発潜熱)および A_{c1} 点にて指示計の指針が 1 時停止する程度の追従性であった。なお最高加熱温度での保持精度は 690°C $\pm$ 5°C であった。

本実験では実験目的により上述以外の供試材、加熱冷却方法を用いた場合があるが、これらについては後述する。

III. 実験結果および考察

1. 加熱冷却の繰返しにより亜共析普通炭素鋼初析フェライト中に析出する微細な粒状セメンタイト(微粒セメンタイト)について

Photo. 1(a) は JIS, S 35 C (0.35% C) を 870°C $\times$ 1 hr FC の完全焼鈍後、前述の急速加熱冷却繰返し試験装置にて 690°C $\times$ 5 sec, WC を施した場合の 200 サイクル後の組織である。(a) の初析フェライトにきわめて微細な粒状のセメンタイトが多数析出しているのが観察される。これは焼鈍ま

- (16) J.H. Whiteley: JISI, **105**(1922), 239.
- (17) 本田, 斎藤: JISI, **101**(1920), 493.
- (18) A. Portvin and V. Bernard: JISI, **105**(1921), 145.
- (19) C.H. Desh and A.T. Roberts: JISI, **107**(1923), 249.
- (20) H.M. Howe and A.G. Lery: JISI, **94**(1916), 210.
- (21) 横田: 金属の研究, **5**(1928), 119.
- (22) 近藤: 本誌, **11**(1947), 19.
- (23) 佐藤, 矢嶋: 鉄と鋼, **38**(1952), 464.
- (24) 佐藤, 矢嶋: 鉄と鋼, **37**(1951), 92.
- (25) 近藤: 本誌, **7**(1943), 193.
- (26) 近藤: 本誌, **9**(1945), 15.
- (27) 武井: 本誌, **17**(1953), 639.
- (28) 蒔田: 鉄と鋼, **15**(1929), 187.
- (29) 佐藤, 矢嶋: 鉄と鋼, **36**(1950), 543.

まの組織には全く認められなかったものである。(a)の場合は冷却速度が約 $200^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ であるが、冷却速度が $40^{\circ}\text{C}/$

とフェライト量、微粒セメンタイトの数および大きさ、および硬度との関係についてさらに詳細に調べた。

Photo.1 The fine spherical cementite precipitated in proeutectoid ferrite after thermal cycling. ($\times 400$)

(a) 0.35% C. electrically heated, $690^{\circ}\text{C} \times 5 \text{ sec}$, water cooled, 200 cycles.
(b) 0.47% C. heated in salt bath, $690^{\circ}\text{C} \times 4 \text{ min}$, water cooled, 100 cycles.

sec の BC の場合はこのような微細な粒状セメンタイトの析出は非常に少なかった。このように加熱冷却繰返しにより析出する微細な粒状のセメンタイトを「微粒セメンタイト」と略称することにする。

通常のポイントカウンティング法により 1, 100, 200, および 500 サイクル後の微粒セメンタイトの数を測定したところ、WC の場合は BC の場合より微粒セメンタイトの数が多く、いずれの場合もサイクルの増加とともにほぼ直線的に微粒セメンタイトの数が增加することが明らかとなった。(b) は JIS, S 45 C, (0.47% C) を $900^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr}$, FC, の完全焼鈍後、塩浴炉にて $690^{\circ}\text{C} \times 4 \text{ min}$, 水冷の加熱冷却の繰返しを 100 サイクル行なった後の組織である。この場合の加熱速度は約 $12^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ であった。これは焼鈍温度を高め徐冷によりオーステナイト結晶粒を粗大化することによりフェライト粒をも粗大化せしめた組織であり、加熱速度も直接通電加熱よりは遅いにもかかわらず (a) と同じような微粒セメンタイトが観察された。また S 35 C (0.35% C) についても焼鈍により結晶粒を粗大化させた場合と焼準ままのフェライト粒が小さな場合のいずれも、冷却が水冷であるときは直接加熱、塩浴浸漬加熱の如何にかかわらず加熱冷却の繰返しにより初析フェライトが微粒セメンタイトを析出する。これらの各々の顕微鏡組織はきわめて類似しているのでその代表的なものを挙げるにとどめるが、同じ試験片を直接加熱方法および塩浴浸漬加熱方法にて数時間連続加熱し、その後水冷した組織はパーライトセメンタイトがわずかに粒状化した組織であり、初析フェライトは熱処理ままと同じであり、加熱冷却の繰返しの場合のような微粒セメンタイトは認められなかった。

上述のごとく初析フェライトに微粒セメンタイトが析出する現象は本実験の範囲内では、加熱冷却繰返しの冷却速度が大きい場合のみ起る特有なものと考え、加熱冷却条件

2. 急速加熱冷却の繰返しによる組織および硬度の変化

焼鈍状態の熱処理ままの組織を「原組織」と称し、加熱冷却後の組織と区別することにする。試験片 S 35 C, FC の加熱冷却繰返し後の組織は Photo. 2 のとおりである。原組織は層状パーライトと初析フェライトからなる標準組織である。噴水冷却の場合の加熱冷却 1 サイクル後の組織は原組織とほぼ同じ組織(写真省略)であり、光学顕微鏡では組織の変化を認めることが出来なかつた。Photo. 2 によればパーライトコロニーの形は加熱冷却の繰返しにより著しい影響は受けず、パーライト内セメンタイトがコロニー内部で粒状化がわずかに進行し、これらの結果として、加熱冷却繰返し後のパーライトは原組織とほぼ同じ形で、その内部が粒状化したものとなる。初析フェライトは 50 サイクル後に微粒セメンタイトをわずかに析出し、100, 200, 500 サイクルの順にその数が増加した。

圧風冷却(BC) の場合の加熱冷却の繰返しによる組織変化の傾向は WC の場合と同じであるが、WC の場合と比較すると BC の場合の方が微粒セメンタイトの数が少ないことおよびパーライト内セメンタイトの粒状化が起り、層状性を失なっている位置は WC の場合はパーライトコロニー内部までおよんでいるのに対し、BC の場合はパーライトコロニー周辺部の初析フェライトとの境界部のみであることが異なつた点である。

Fig. 3 は 40×10 にて検鏡写真記録後、さらに 2000 倍まで引伸した印画紙上で観察しうる初析フェライト中の微粒セメンタイトの全数を数え、初析フェライト量と微粒セメンタイトの数との回帰直線より求めたフェライト単位面積当りの微粒セメンタイトの数と加熱冷却繰返し数との関係を示したものである。この方法では対物レンズの解像力以下のさらに微細な微粒セメンタイトの数は含まれないが、

後述のように 100×10 にて検鏡した場合でも同じ傾向を示すので、微粒セメンタイトの数の変化を知るには満足しう

行は微粒セメンタイトの加熱冷却繰返しによる成長を意味するものである。その成長は 0.3μ を大体の限度として依

(a) 50 cycle WC (b) 500 cycle WC (c) 500 cycle BC
Photo.2 Effect of number of cycles and cooling rate of thermal cycles on the fine spherical cementite. ($\times 400$)
Specimen; S 35 C. FC. Thermal cycle; refer to Fig.2.
Cooling rate; WC. $250^\circ\text{C}/\text{sec}$. BC. $35^\circ\text{C}/\text{sec}$.

Fig.3 Relation between number of fine spherical cementite per unit of ferrite area and thermal cycles. ($\times 400$)
Specimen; S 35 C. FC. Cooling rate; WC. $250^\circ\text{C}/\text{sec}$. BC. $35^\circ\text{C}/\text{sec}$.

るものと考えられる。

微粒セメンタイトの数と加熱冷却繰返し数との関係はいずれも繰返し数の増加により微粒セメンタイトの数は比例的に増加し、WC の場合は BC の場合より格段にその数は多い。なおこの関係は前述の通常のポイントカウンティング法で得られたものと同じ傾向であつた。 100×10 の油浸法にて検鏡写真記録後、さらに 2000 倍まで引伸し後、初析フェライト中心部の微粒セメンタイトの直径をブリネル硬度計用の拡大鏡にて測定した結果を Fig.4 に示した。この図は微粒セメンタイトの数と大きさの関係が加熱冷却繰返しにより如何なる変化を示すかを明らかにするため、縦軸は微粒セメンタイトの数の比であり下式によつて求めた。

$$\text{微粒セメンタイトの数} = N_c / N_c(200 \text{ WC, max})$$

ここで N_c は任意の直径の微粒セメンタイトの数であり、 $N_c(200 \text{ WC, max})$ は WC の場合の 200 サイクル後のヒストグラムの最大頻度の微粒セメンタイトの数である。

このヒストグラムは検微鏡解像力の関係で左側は欠けているが最大頻度の大きさを代表値とすると微粒セメンタイトの直径は $0.2 \sim 0.3 \mu$ となる。WC の場合サイクル数の増加にしたがつてヒストグラムは右側へ移行する。この移

Fig.4 Relation between number of fine spherical cementite and diameter of fine spherical cementite. ($\times 1000$)
Specimen; S 35 C. FC. Cooling rate; $250^\circ\text{C}/\text{sec}$. (WC)

然として微粒状態に止まる。BC の場合は微粒セメンタイトの数が少ないが、ヒストグラムの形は WC の場合と同じとなつた。

微粒セメンタイトの数および大きさの加熱冷却繰返しによる変化をとりまとめると、冷却速度が大きい場合は数が多いこと、繰返しにより数が増加すること、繰返しにより多少成長すること、およびその直径は $0.2 \sim 0.3 \mu$ 程度であることなどであり、WC, BC いずれの場合も 500 サイクルまでは析出と成長が継続しているものと考えられる。

加熱冷却の繰返しによりパーライトセメンタイトが粒状化するため、パーライトコロニー量も変化するが、ポイントカウンティング法によるとその変化量は比較的少なく、1~500 サイクル間は直線的に変化し、500 サイクル後のパーライトコロニー量は WC の場合、原組織のパーライトコロニー量の約 5% 減少、BC の場合は約 5% の増加と測定された。本実験ではパーライト内セメンタイトとパーライト内フェライトの和をコロニー量として測定しているため、WC の場合のように加熱冷却の繰返しによりコロニーの形がそれほど変化せず、コロニー内部でパーライトセメ

ンタイトの粒状化が進行する場合のコロニー量の変化量は見掛けよりは小さな値となる。BC の場合は WC の場合と異なり、パーライトセメンタイトが分解し、拡散、析出する位置が初析フェライト側となるためコロニー量は増加する。しかし、いずれの場合もパーライトセメンタイト量としては減少しているものと考えられる。

加熱冷却の繰返しによる硬度変化 (Hv 20 kg, フェライト+パーライトの硬度) は Fig. 5 に示した。硬度測定は検

Fig. 5 Relation between hardness and thermal cycles. Specimen; S 35 C. FC. HT; as annealed.

鏡の都合により、加熱冷却繰返し後 24 hr 後に行なつたが、サイクル数と硬度との関係は加熱冷却直後に測定しても同じであつた。加熱冷却繰返し後の硬度は 1 サイクル後に急激に硬化し、その後次第に軟化する傾向を示す。WC の場合は BC の場合より硬度は高いが全体的傾向は同じである。加熱冷却の繰返しによる軟化はパーライトの粒状化によるものと考えられる。1 サイクル後の急激な硬化の原因は現在のところ明らかではないが、筆者らの実験によると普通炭素鋼の場合、熱処理の如何を問わず、急速加熱—短時間保持—急冷の熱サイクルにより硬化量の相違はあるが

トの析出開始と一致することから、over aging と同じ機構によるものと考えられる。

3. 加熱冷却繰返しの冷却速度と微粒セメンタイトの関係

加熱冷却繰返しの冷却速度と微粒セメンタイトとの関係を詳しく調べるため、S 35 C, FC 50 の試験片について、熱サイクルの加熱速度 (23°C/sec), 最高加熱温度 (690°C) および保持時間 (5 sec) は同じで、各々冷却速度のみが異なる場合の 200 サイクル後の組織と硬度を調べた。冷却速度は噴水冷却の 250°C/sec より圧風冷却の 45°C/sec の範囲内で 6 種類であり、690°C~200°C 間の平均冷却速度を代表値とした。

Photo. 3 は冷却速度の異なる場合の 200 サイクル後の組織を示した。これらは最大および最小冷却速度の場合であるが、これらの中間の冷却速度の場合の組織は類似していて、微粒セメンタイトの数の相違を通常の検鏡のみで比較することは困難であつた。

これらの加熱冷却条件で析出した微粒セメンタイトの数を前述と同じ方法で測定した結果を Fig. 6 に示した。図で明らかなように冷却速度が約 50°C/sec 以上になると微粒セメンタイトの数が急激に増加し、微粒セメンタイトが析出する加熱冷却条件としては前述の加熱冷却繰返し数と同様、冷却速度も重要な因子と考えられる。微粒セメンタイトの数は検鏡倍率 400 倍および 1000 倍にて測定したが、図で示されるように測定値の相違はあるが傾向は同じとなる。この測定値の相違は対物レンズの解像力によるもので、微粒セメンタイトの数の変化の傾向を調べるのみなら、検鏡倍率 400 倍程度で十分でないかと考えられる。

冷却速度と硬度の関係は Fig. 7 に示した。図中微小硬度

(a) WC 250°C/sec
Photo. 3 Effect of cooling rate of thermal cycles on the fine spherical cementite after 200 cycles. (x1000)
(b) BC 40°C/sec
Specimen; S 35 C. FC 50.

必ず硬化する。この硬化量は変態点以下の固溶炭素量によることはもちろんであるが冷却速度に著しく関係があることから冷却時の熱応力も何らかの影響を与えているものと考えている。WC の場合、50 サイクル後の硬度が幾分低いがこの低硬度の原因も明らかではないが、微粒セメンタイ

値はビッカース微小硬度計 (荷重 25 g) による初析フェライト粒のみの硬度 (Hv) である。これより微粒セメンタイトの析出したがフェライトが硬化するものと考えられる。なお微粒セメンタイトの大きさを前述と同じ方法で測定したが、試験片 S 35 C, FC の場合と同じ形のヒストグ

ラムとなり、冷却速度が変化してもヒストグラムの形および最大頻度の大きさに変化がなかった。

Fig. 6 Relation between number of fine spherical cementite per unit ferrite area after 200 cycles and various cooling rate of the thermal cycle. Specimen; S35C. FC 50.

Fig. 7 Relation between hardness of the ferrite after 200 cycles and various cooling rate of thermal cycles. Specimen; S35C. FC 50.

4. 温度変化のない定常的な加熱による組織および硬度の変化について

加熱冷却繰返しによりパーライト内セメンタイトが粒状化し、初析フェライトに微粒セメンタイトが析出することは前述のとおりである。加熱冷却繰返しの熱サイクルの保持時間は5 secであり、500サイクルの場合は合計2500 sec 最高加熱温度(690°C)に保持したことになる。この程度の時間で層状パーライトが簡単に粒状化することがないのは容易に予想されたが、加熱冷却繰返しの場合と全く同じ条件で加熱および冷却を行ない、保持時間のみを種々変えた場合に組織がどの程度変化するかを詳細に観察した。このような温度変化のない通常の加熱を加熱冷却繰返しと区別するため定常的加熱と呼ぶことにする。定常的加熱による組織変化はパーライトセメンタイトの粒状化のみで、加熱冷却繰返しの場合のように初析フェライトに微粒セメンタイトが析出することはなかった。パーライトセメンタイト

の粒状化も非常におそく、保持時間が15,000 sec(加熱冷却繰返し3000サイクル相当)の場合でも、粒状化のおそい圧風冷却の500サイクルと同程度またはそれより粒状化の進行がおそい。なお定常的加熱後の硬度は保持時間が0 secにて急激に硬化し、5, 25, 200, 500 secの順に急激に軟化し、1000 secより長時間の場合は通常の球状化焼鈍と同じ程度の軟化傾向を示す。保持時間が500 secより短い場合の硬度は原組織よりかなり高く、これが前述の急速加熱—短時間保持—急速冷却1サイクルの硬化現象であり、光学顕微鏡で判別しうる組織変化を伴わないのがその特色である。

IV. 総 括

筆者らの実験は試験片が引張試験片型であり形状が単純であること、急速加熱後最高加熱温度に保持するような熱サイクルを採用していること、顕微鏡組織の検討を詳細に行なつたことなどが特色であり、電気抵抗直接加熱方式で試験片外周より冷却する加熱冷却繰返しを行なつたのは筆者らが最初⁽¹⁵⁾である。

実験結果によれば、 Ac_1 以下の加熱冷却を繰返した場合亜共析普通炭素鋼の顕微鏡組織は原組織(熱処理のままの組織)の層状パーライトは崩壊して粒状化する。原組織の初析フェライトはその粒界にセメンタイトを析出し、さらに粒内にきわめて微細な粒状のセメンタイトを析出する。この微細な粒状セメンタイトは加熱冷却サイクルの繰返しによつてのみ析出し、かつその冷却が徐冷の時は析出しない。そして初析フェライト粒内にはば均一に分布しその直径は0.2~0.3μ程度であり、加熱冷却の繰返しにより多少成長する。またその数は冷却速度が大きいほど多く、加熱冷却の繰返しにより増加し、通常の球状化処理で得られる粒状セメンタイトと趣きを異にする。このため筆者らはこのような形で析出する微細な粒状セメンタイトを「微粒セメンタイト」と呼ぶことにした。温度変化のない定常的な加熱の場合はもちろん微粒セメンタイトの析出はないが、加熱冷却繰返しの場合に比較してパーライトセメンタイトの粒状化もおそい。保持時間が15,000 secになつてもパーライトセメンタイトの粒状化はわずかであつた。

この微粒セメンタイトと最高加熱温度、保持時間および拘束応力との関係などについて検討した結果を引続き報告する予定である。

終わりに本研究に際し、御助言をいただいた北海道大学工学部 萩原教授および室蘭工業大学 金森教授に謝意を表する。