

# 低炭素鋼の顕微鏡組織におよぼす オーステナイト界域よりの冷却速度について\*

(Pearlite-free structure について)

吉 田 潔 司\*\*

## THE EFFECT OF RATE OF COOLING FROM THE AUSTENITE RANGE UPON THE MICROSTRUCTURE OF LOW-CARBON RIMMED STEEL

(On the formation of pearlite-free structure)

Kiyoshi Yoshida

### Synopsis:

The microstructure of low-carbon rimmed steel specimens cooled continuously from their austenite range to the room temperature at the various cooling rates was investigated in relation to their cooling rates. All specimens were first given a homogenizing annealing at 950°C for 30 mn. They were then rapidly cooled at the rates of 300°C/mn, 150°C/mn, or 20°C/mn to the different temperatures, 800°C, 750°C, 700°C and 650°C and subsequently cooled slowly to the room temperature at the rate within the range from 3°C/mn to 9°C/mn.

The results obtained were as follows.

1) Cooling slowly at the rate 3°C/mn below 700°C a pearlite-free structure was formed with the 0.08% C specimens cooled at the rate above 150°C/mn to 700°C and with the 0.05% C specimens cooled at the rate above 20°C/mn to the same temperature. In other words, the formation of the pearlite-free structure was affected by the temperature at which the slow cooling began and also by the slow cooling rate.

2) The specimens which showed the pearlite-free structure gave the exceedingly high Charpy impact values in comparison with the annealed specimens of the same chemical composition.

## I. 緒 言

低炭素鋼を austenite range より種々なる冷却速度にて連続冷却を行うと、冷却速度の差異が、顕微鏡組織にいちじるしく影響することは種々の研究報告に発表されている。これは proeutectoid ferrite の析出の速度の相違が、常温における顕微鏡組織に差異を生ずるものであると考えられる。

現在までの実験の多くは austenite range より緩冷し、 $A_1$  却下の冷速度を変化させるか、また恒温変態により ferrite, pearlite の析出の問題などについて行っているが、筆者は austenite range より、種々なる冷却速度にて冷却し proeutectoid ferrite の析出の速度を変化させ、その後、種々なる速度にて連続冷却を行った結果 950°C ~ 700°C 間および 700°C 以下の冷却速度を調節して連続冷却を行うと pearlite-free structure を得られることがわかった。これは J. Görrissen の報告に述べているごとく、pearlite の decomposition に

よる grain boundary cementite の生成のためであると考え。しかし、この pearlite の decomposition の程度は 700°C 以下の冷却速度にも影響するが primary pearlite の大きさ、すなわち C% と 950°C ~ 700°C 間の冷却速度にも影響すると考えられるので、C% と冷却速度を変化させ、種々の primary pearlite を生成し、その後の連続冷却による顕微鏡組織におよぼす影響について検討した実験結果について述べる。

## II. フェーライト結晶粒界に析出する セメントイトについて

幾多の研究報告によれば grain-boundary cementite は  $A_1$  以下の徐冷により ferrite の C の固溶度の減少によるものとして grain-boundary cementite の析出を説明しているが、J. Görrissen は種々の実験により

\* 昭和32年10月本会講演大会にて発表

\*\* 日亜製鋼株式会社、尼崎工場管理部品質課

grain-boundary cementite は2つの異つた型があり、1つは true grain-boundary cementite と称すべき ferrite のCの固溶度の減少によるもので、粒界に thin band として認められ、1つは pearlite の decomposition によつて生成する cementite で thick band, globules または flakes で存在し、よつて pearlite の decomposition の反応は緩かで、実験によると、930°C から 710°C~600°C 間の各温度の鉛浴中に投入し、種々の時間保持後、空冷し pearlite の decomposition の程度について検討しているが、結果は Fig. 1 のごとく、690°C ~670°C 間にて急速に反応することがわかり、長時間保持すると globular cementite となることを認めた。true grain-boundary cementite は pearlite の decomposition による cementite に比べて反応が急速であり比較的早い冷却の後においても認められると述べている。以上のごとく単に grain-boundary cementite といつてもおのおの成因が異なることがわかる。

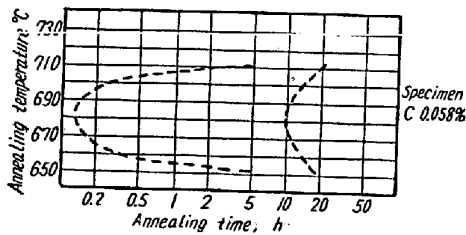


Fig. 1. Tentative diagram for the beginning and endpoint of cementite formation, based on micro-structures. (J. Görrissen)

### III. 実験方法

試験片は厚さ 20mm の 低炭素リムド鋼板の中心部

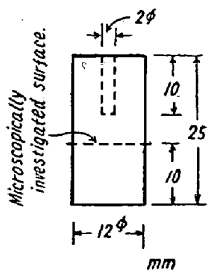


Fig. 2. Heat-treated specimen.

より圧延方向に直角に 12mm×12mm×25mmの寸法に切削し、焼準 (950°C×30mn) 処理後、Fig. 2 に示すごとく、熱電対挿入のため試験片中央に、深さ 10mm 径 2mm の穿孔を行い、熱処理用試験片とした。試験片の化学成分は、

Table 1 に示すごとき C% 0.13~0.05 の範囲のものである。

熱処理に際し、まず試験片に熱電対を挿入し加熱炉にて 950°C×30mn 加熱後、Table 2 に示すごとき異つた冷却速度にて冷却し、徐冷開始温度に達せば、所要の温度に加熱した鉛浴炉に試験片を投入し、所定の速度に

Table 1. Chemical composition of test specimens.

Sample	C	Si	Mn	P	S
AT	0.13	tr	0.37	0.030	0.046
AB	0.08	tr	0.36	0.024	0.040
CB	0.05	tr	0.35	0.007	0.017

Table 2. Heat-treating conditions.

1) The effect of cooling rates within the temperature range from 950°C to 700°C.\*

No.	Cooling rate °C/mn		Remark
	950°C ~700°C	700°C ~500°C	
1	air cool		Normalizing
2	300	3	
3	150	3	
4	20	3	
5	2~1	0.5	

\* At 700°C the slow cooling was begun in any.

2) The effect of the temperature at which the slow cooling began.

No.	Initial rapidly cooling rate °C/mn	Temperature at which the slow cooling began °C*
1	300	800
2	300	750
3	300	700
4	300	650

\* Slow cooling rate was 3°C/mn in any.

3) The effect of slow cooling rate which is accompanied with below 700°C.

No.	Initial rapidly cooling rate up to 700°C °C/mn	Slow cooling rate below 700°C °C/mn
1	300	3
2	300	8
3	300	28
4	300	78
5	300	96

て 500°C まで徐冷し、以後空冷した。熱処理後の試験片は Fig. 2 に示すごとく横断面を鏡した。

機械試験 衝撃試験は 12mm×12mm×100mm の試験片を上記述べた鋼板の中心部より圧延方向に採取し焼準後、冷却速度の異つた3種類の熱処理を行い、抗張試験 (G.L 28mm 8mmφ) シヤルピン 衝撃試験を行った。なお ferrite 粒度、断面硬度は衝撃試験片の残部にて測定した。

### IV. 実験結果

#### i) 顕微鏡組織におよぼす影響

##### A) 950°C ~ 徐冷開始温度 700°C 間の冷却速度

950°C ~ 700°C 間の冷却速度の顕微鏡組織におよぼす影響を調べるため、950°C より 700°C までの冷却速度は 300°C/mn, 150°C/mn, 20°C/mn の3種類にて、徐冷開始温度はいずれも 700°C (700°C 以下は 3°C/mn にて冷却) とした。なお比較のため、焼準、焼鈍処理も行つた。種々の処理を行つた各試験片の冷却速度と顕微鏡組織との関係について述べる。

試験片 AT (C 0.13%) は冷却速度の差異により pearlite の析出の量がやや異なるが、いずれの処理においても ferrite 粒界に塊状の pearlite が析出しており、焼鈍処理のものは banded structure を呈している。

試験片 AB (C 0.08%) においては、冷却速度 300°C ~ 150°C/mn では高倍率 (×800) にて識別できる程度の、きわめて微細な pearlite が点在しており、低倍率 (×100 ~ ×200) では ferrite のみの組織と判定せられる。(以下この組織を pearlite-free structure と称する。) 冷却速度 20°C/mn, 焼鈍処理のものは ferrite 粒界に塊状の pearlite が析出している。(Photo. 1 参照)

試験片 CB (C 0.05%) は冷却速度 300°C ~ 20°C/mn にて pearlite-free structure を呈し、焼鈍処理のものは

のは pearlite が塊状に析出している。

以上各試験片ともいずれも焼準処理を除き ferrite 粒界に cementite が析出しており (true grain-boundary cementite と pearlite の decomposition による cementite が存在している) その析出の程度は pearlite-free structure を呈したものが最もいちじるしい (Photo. 2 pearlite free structure を呈する組織, Photo. 3. 焼鈍せるもの, 比較参照) Photo. 4 は pearlite-free structure を高倍率にて示したもので、flakes のものが pearlite の decomposition による cementite で thin のものが true grain-boundary cementite である。Photo. 5 は pearlite-free structure をピクリン酸ソーダにて腐蝕後、硝酸 5% アルコール溶液にて再腐蝕を行つた結果にて pearlite の decomposition による cementite はピクリン酸ソーダにて着色しているが true grain boundary cementite は着色されていない。

以上の実験により、C 0.08% は 150°C/mn, C 0.05% は 20°C/mn 以上の冷却速度にて 950°C ~ 700°C 間を冷却し、以後 3°C/mn にて冷却すれば pearlite free structure を呈し、pearlite-free structure を呈する所要冷却速度は C% によつて異なり、また ferrite 粒界に析出する cementite の程度は焼鈍処理よりいちじるしい。C 0.13% のものは如何なる冷却速度にても pearlite-free structure を呈しないことがわかつた。

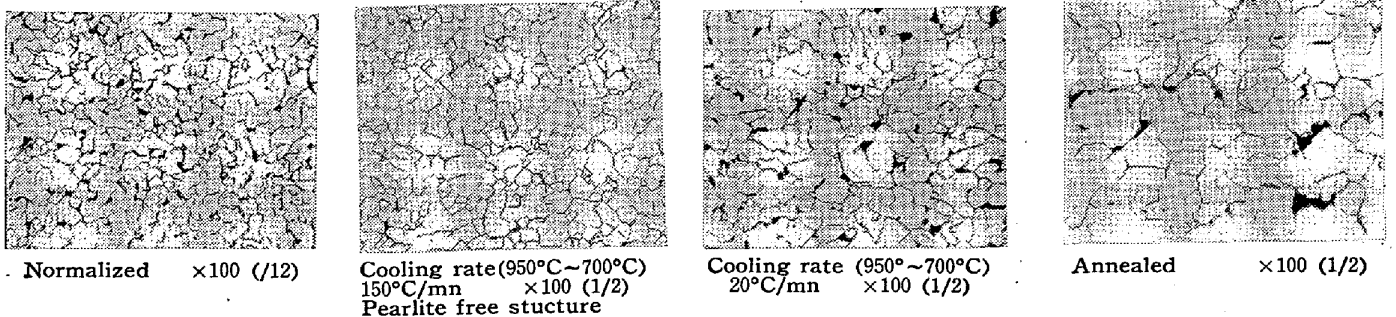
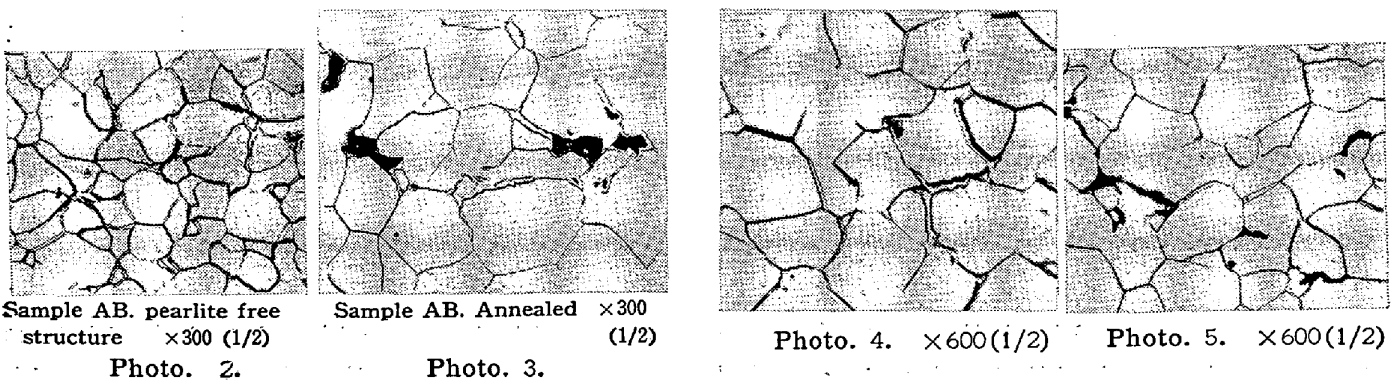


Photo. 1.



このように冷却速度による顕微鏡組織のいちじるしい差異は pearlite の decomposition による cementite の生成の程度によるものと考え、この生成の程度は primary pearlite の大きさに関係し、冷却速度の大であることは、徐冷開始時の primary pearlite が小になり徐冷期間中に pearlite が decomposition し易く遂に pearlite-free structure を呈するものと考えられる。したがって冷却速度により decomposition の程度が異なり pearlite と ferrite の割合に差異を生ずるものと考えられる。

C% による影響は、C 0.13% のごとく含有量の異なるものは冷却速度を大にしても primary pearlite の大きさが小にならず一部分は徐冷中に decomposition するが、他は pearlite として存続する。なお pearlite-free structure は焼鈍処理に比べ pearlite の decomposition による cementite の析出のいちじるしいことは pearlite-free structure は pearlite の decomposition が十分に行われたため、true grain-boundary cementite の析出もいちじるしいことは J. Görrissen も述べているごとく ferrite 結晶粒度の大なる場合は (pearlite-free structure を呈するもの) 小なる場合 (たとえば焼鈍処理せるもの) に比べて A<sub>1</sub> 点における ferrite の C の固溶度は大であるのではないかと考える。

Photo. 6 は 950°C~700°C間の冷却速度と pearlite の大きさとの関係を示すため、徐冷開始温度700°Cにて水焼入を行った顕微鏡組織を示したものである。Aは 300°C/mn にて冷却したもので pearlite がいちじるしく微細化しており、Bは 20°C/mn にて冷却したもので、Aに比べて pearlite が大である。Aはその後の徐冷により pearlite-free structure を呈したもので Bは pearlite が塊状に析出した組織を示したものである。

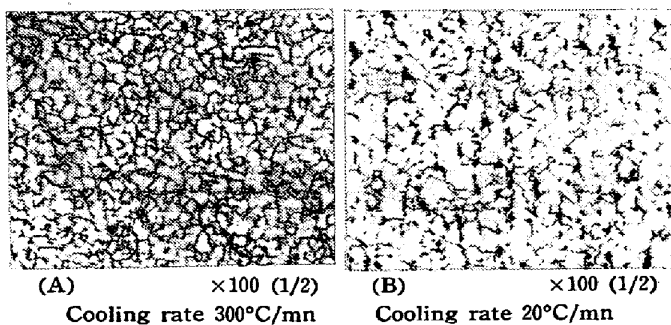


Photo. 6.

#### B (徐冷開始温度の影響)

以上の実験は、いずれも徐冷開始温度 700°C の場合であるが、徐冷開始温度の影響を検討するため、徐冷開

始温度 800°C, 750°C, 700°C, 650°C の4種類につき実験を行った。950°Cから徐冷開始温度まで 300°C/mn にて冷却し、徐冷開始温度以下はいずれも 3°C/mn にて冷却した。試験片 ABを用い、本試験片は前項の実験にて、徐冷開始温度 700°C にて pearlite-free structure を呈したものである。

実験結果によれば、徐冷開始温度 700°C 以外のものは、ferrite 結晶粒界に pearlite が塊状に析出している。徐冷開始温度が 700°C 以上の場合 pearlite の大きさが大であるため、その後の徐冷において pearlite が decomposition しにくいとため、700°C 以下であるとき J. Görrissen の実験によれば、690°C~670°C の範囲が最も pearlite が decomposition し易いとのことで、650°C 以下では、その温度範囲を越え、pearlite が decomposition しにくいとためと考えられる。ゆえに 700°C 以外の徐冷開始温度では、塊状の pearlite が認められるわけである。なおいずれの徐冷開始温度においても true grain-boundary cementite を認め 800°C 750°C の場合は若干の pearlite の decomposition による cementite を認めた。

#### C) 徐冷開始温度以下の冷却速度による影響

A) 項の実験により、試験片 AB は 950°C~700°C 間を 150°C/mn 以上の冷却速度にて冷却し、徐冷開始温度 700°C (以下 3°C/mn にて冷却) とすれば pearlite-free structure を呈することがわかった。本項においては、徐冷開始温度 700°C とし、それ以下の冷却速度を変化させて ferrite 粒界に析出する cementite の程度について検討した。

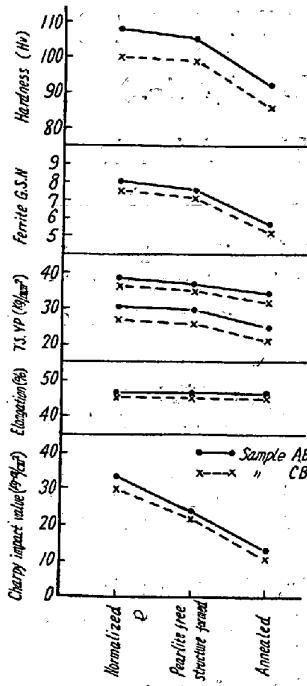
実験は試験片 AB を用い 950°C~700°C 間を 300°C/mn にて冷却し、700°C 以下の冷却速度を 8°C/mn, 28°C/mn, 78°C/mn, 96°C/mn の4種類について行った。結果によれば 8°C/mn では微細な pearlite が ferrite 粒界に析出し、粒界に true grain boundary cementite が析出している。(若干の pearlite の decomposition による cementite も存在す) 28°C/mn にて冷却すると、塊状の pearlite を析出し、粒界に true grain-boundary cementite が析出している。78°C/mn 以上にて冷却すると、塊状の pearlite の析出が増加し、粒界に true grain-boundary cementite は析出していない。

以上の結果より 8°C/mn にて微細な pearlite が析出していることは、冷却速度が大であるため pearlite の decomposition が不十分であるためと考えられ true grain-boundary cementite が 28°C/mn においても

認められることは pearlite の decomposition により生成される cementite より反応速度が大であることを示すものとする。

ii) 機械的性質におよぼす影響

pearlite-free structure を呈するものと、焼準、焼鈍処理せるものとの機械的性質の比較をするため試験片



AB, CBを用い, 1. 焼準 (950°C×30mn) 2. pearlite-free structure を呈する処理(950°C~700°C 間 300°C/mn にて冷却, 700°C 以下 3°C/mn にて徐冷) 3. 焼鈍 (950°C×30 mn 後 2.0~5°C/mn にて徐冷) の3種類の熱処理を行い抗張試験, シャルピー衝撃試験, ferrite 粒度測定 断面硬度測定を行った。結果を Fig. 3 に示す。抗張力, 降伏点は焼鈍処理せるものは, 他の処理に比べ若干低下しているが, 伸は各処理間でほとんど差がない。

Fig. 3. The effect of each heat-treatment to the mechanical properties.

焼準, pearlite-free structure を呈する処理との間にはいちじるしき差がない。

衝撃値は, 焼準 30 kg-m/cm<sup>2</sup> pearlite-free structure を呈する処理 20 kg-m/cm<sup>2</sup> 焼鈍 10 kg-m/cm<sup>2</sup> 程度にて pearlite-free structure を呈するものは焼鈍せるものより粒界析出の cementite の程度はいちじるしいにもかかわらず高い衝撃値を示している。したがって衝撃値は粒界析出 cementite より ferrite 粒度に大きく影響するものとする。

V. 総括

低炭素鋼の austenite range よりの冷却速度と顕微鏡組織との関係について, 実験を行った結果, つぎの結果を得た。

1) 950°C~徐冷開始温度間および徐冷開始温度以下の冷却速度の差異が; 顕微鏡組織にいちじるしく影響し本実験において C 0.08% 試験片では 950°C~徐冷開始温度 700°C 間の冷却速度 150°C/mn 以上, C 0.05%

試験片では 20°C/mn 以上にて, 徐冷開始温度 700°C 以下を 3°C/mn にて徐冷すると pearlite-free structure を呈した。他の冷却速度については pearlite の decomposition が十分でないため塊状の pearlite を析出する。したがって pearlite-free structure を呈するものは, 焼鈍処理より粒界析出の cementite はいちじるしく多い。C 0.13% 試験片は如何なる冷却速度にても pearlite-free structure を呈しない。

2) pearlite free structure は 950°C~徐冷開始温度 700°C 間の冷却速度とともに徐冷開始温度にも影響し, 冷却速度 300°C/mn にて徐冷開始温度 700°C の場合は pearlite-free structure を呈するが, 徐冷開始温度が 700°C より高, 低いいずれの場合においても pearlite が塊状に析出する。

3) pearlite-free structure は徐冷開始温度以下の冷却速度にも影響し, 冷却速度 300°C/mn にて徐冷開始温度 700°C にて, それ以下 3°C/mn にて冷却すると pearlite-free structure を呈するが, これより大なる冷却速度にて冷却すると pearlite が塊状に析出する。28°C/mn の冷却では粒界に pearlite の decomposition による cementite は認められないが, true grain-boundary cementite は認められる。

4) 焼準, pearlite-free structure を呈する処理, 焼鈍せるものの機械的性質, シャルピー衝撃値を比較すると, 機械試験値は, 焼鈍処理のみ他の処理に比べ若干低下しているが, 衝撃値は焼準 pearlite-free structure を呈する処理, 焼鈍の順に低下している。この衝撃値の低下は ferrite 粒度によるものとする。

以上述べたごとく, 本実験により austenite range よりの冷却速度の差異により pearlite の decomposition の程度が異り, 顕微鏡組織にいちじるしく影響することがわかった。

終りに, 本報告の発表を許可された取締役兼尼崎工場長, 時枝又衛氏, 種々御指導を賜った管理部長, 大岡敏行氏, 品質課長 沢田悟氏に深甚なる謝意を表します。

(昭和 32 年 5 月寄稿)

文 献

- 1) J. Görrissen: J.I.S.I. 162, (1949), p. 16
- 2) H.C.H. Carpenter: J.I.S.I. (1931), 1 p. 345
- 3) 菊地: 鉄と鋼, 37 (1951) 11 p. 20
- 4) 古沢・児島: 日本金属学会誌, 18 (1954) 11 p. 599
- 5) A. Josefsson: Journal of Metals: May (1954) p. 652