

# 普通炭素鋼の焼入組織に関する研究 (第1報)

普通炭素鋼の焼入組織におよぼす加熱温度と加熱時間の影響

福井 昂\*・時弘 義雄\*

## Study on the Quenched Structure of a Plain Carbon Steel. (1st Report)

Effect of Quenching Temperature and Heating Time on the Quenched Structure of a Plain Carbon Steel.

Takashi FUKUI and Yoshio TOKIHIRO

### Abstract

On structure and mechanical properties of plain carbon steels were quenched from appropriate quenching temperature have already studied by many investigators for varied composition.

But, there were little studies on structure and mechanical properties of plain carbon steels which were hardened by quenching in water from  $A_1$  to  $A_3$  arrest point.

In this paper, the present investigators carried out quenching in water from  $760^\circ\text{C}$  to  $A_3$  arrest point and studied the effect or relationship of heating temperature, heating time and influence of decarburization on quenching structure in commercially steels with carbon 0.105, 0.208, 0.32, 0.49 and 0.64% preceded by normalizing at appropriate temperature through means of hardness test and microstructure.

The results obtained are as follows:

- (1) Until heating temperature is  $780^\circ\text{C}$ , the quenching hardness is unconcerned in heating time.
- (2) The longer heating time is, the lower quenching hardness for low carbon steels are.
- (3) Until heating time is 2 hours, the quenching hardness has not an effect on heating time at appropriate quenching temperature for high carbon steels.

### 1. 緒 言

鉄鋼材料の熱処理は、大きく  $A_1$  変態点以下のものと、それ以上のものに分けることができる。  $A_1$  変態点以下の熱処理であるセメントタイトの粒状化、および低炭素鋼の時効硬化などについては、古くより多くの報告がある。一方  $A_1$  変態点以上の熱処理である炭素鋼の焼入れに関しても多くの報告がなされているが、これを通観すると、焼入性におよぼす合金元素とオー

ステナイト粒度、炭素含有量と最適焼入温度、焼入液の冷却能、均一なるオーステナイトにするための加熱温度と加熱時間の関係、焼ひずみおよび焼割れについては、非常に多くの研究報告があるのにはんし、  $A_1$  変態点より最適焼入温度までの温度からの焼入組織、および硬度と加熱時間との関係についての報告は、ほとんどみられない。つぎに試料については、焼入効果の大きい  $S40C$  以上の炭素鋼についておもに研究され、  $S20C$  以下の低炭素鋼については、ほとんど報告され

\* 工業短期大学部機械工学教室

ていない。したがって、著者らは、まず  $A_1$  変態点と  $A_3$  変態点の間で加熱温度が高く、しかも加熱時間が長くなった場合の脱炭作用が焼入組織におよぼす影響を炭素含有量の異なる炭素鋼について硬度と組織より検討した。つぎに  $A_1$  変態点と  $A_3$  変態点の間における組織変化の状況と、 $A_3$  変態点以上における組織変化の状況を比較するために、 $A_3$  変態点以上の温度についても、あわせて検討したので、その結果を報告する。

Table 1 Chemical composition of specimens (wt %)

Specimen	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
A (S 10 C)	0.105	0.28	0.50	0.017	0.013	0.01	0.01	0.11
B (S 20 C)	0.208	0.27	0.51	0.047	0.027	tr	—	0.15
C (S 30 C)	0.32	0.27	0.70	0.022	0.027	0.14	0.05	0.06
D (S 50 C)	0.49	0.27	0.71	0.018	0.016	0.02	0.01	0.27
E (SK 7)	0.64	0.25	0.44	0.015	0.008	tr	0.04	0.31

## 2.2 熱 処 理

試料の熱処理は、すべて電気マuffle炉を用いて空气中で行なった。まず焼入処理に先立つて、試料の組織を均一にするために、4時間で Table 2 に示した温度に昇温し、その温度に1時間保持した後、空中(平均20°C)冷却した。温度調節は電子管式調節器(±2°C)で行なった。つぎに焼入処理のための加熱温度はP.P.熱処理<sup>1)</sup>により、各試料につき Table 3 のように定め、0.5、1および2時間保持した後、軽

Table 2 Normalizing temperature of specimens.

Specimen	A	B	C	D	E
Normalizing temperature (°C)	900	880	850	800	760

Table 3 Quenching temperature of specimens

Specimen	Quenching temperature (°C)
A	900, 880, 860, 840, 820, 800, 780, 760
B	850, 860, 840, 820, 800, 780, 760
C	860, 840, 820, 800, 780, 760
D	800, 780, 760
E	790, 770, 750

## 2. 試料および実験方法

### 2.1 試 料

Table 1 は試料の化学成分を示したものである。試料は市販の19φの機械構造用炭素鋼、S10C, S20C, S30C, S50CおよびSK7を使用した。試料の寸法は、熱処理による組織の不均一をなくすために旋盤加工により10φ×20mmに整形した。

くかくはんした10°Cの水中に焼入れた。

### 2.3 顕微鏡による組織観察

試料の研磨は100番のエメリー紙で端面のスケールを除去したのち、高速鏡面仕上げ機で研磨し、バフ仕上げを行なった。腐食は5%ピクリン酸アルコール溶液で行なった。組織の観察は各試料について焼入時間ごとの顕微鏡写真をとり、焼入組織の変化の過程をその写真より比較した。

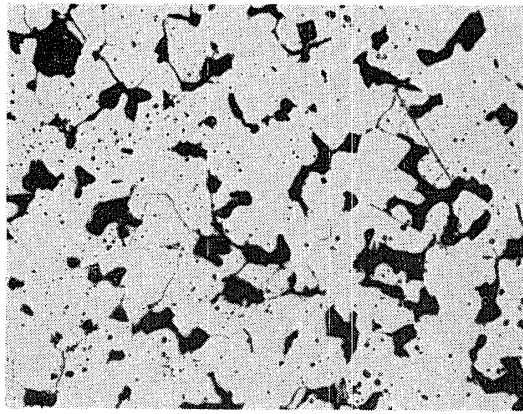
### 2.4 硬 度 測 定

硬度はロックウェル硬度計のBおよびCスケールを用いて測定した。測定にあたっては、各試料とも顕微鏡組織の観察を行なったものについて、周辺4箇所、中央1箇所の5箇所を測定し、その平均値をもつて硬度とした。なお硬度は焼入時効の影響を考慮して時効硬化が完了すると思われる14日後に測定した。また実験結果としての硬度はP.P.熱処理<sup>1)</sup>より換算したシヨア硬度で示した。

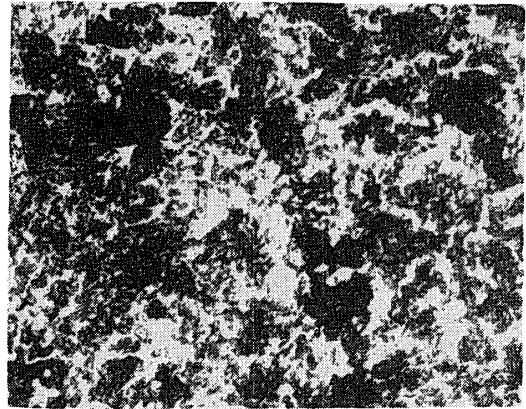
## 3. 実験結果および考察

### 3.1 焼準処理した試料の組織について

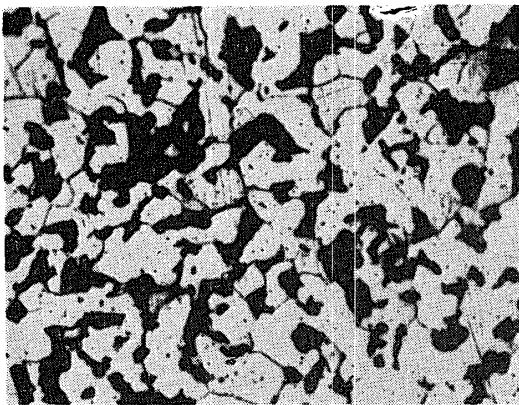
Fig. 1 (A)~(E)に焼準した試料の組織を示す。これからわかるように(D)試料までは、ほとんど標準組織と同様であるが、炭素含有量の多い(E)試料では、すでに焼準温度よりの空中冷却によつて、パーライトが崩壊して、部分によつては、かなりセメントタイトの粒状化が進行していることがわかる。



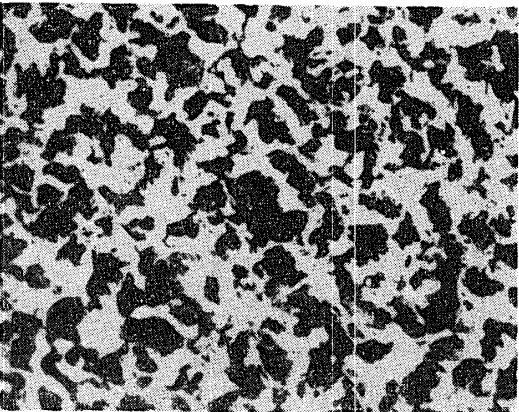
(A)



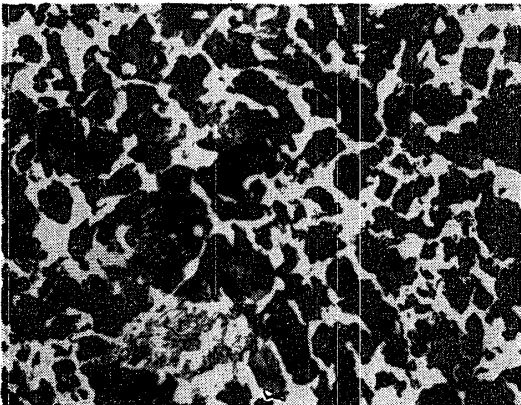
(E)



(B)



(C)



(D)

Fig. 1 Microstructures of specimens which were air-cooling from normalizing temperature

Heated at (A) 900°C, (B) 880°C, (C) 850°C, (D) 800°C and (E) 760°C for 1 hour

Magnif. : ×320

### §2 試料Aについて

Fig. 2 に各加熱温度における加熱時間に対する硬度の変化を示した。これからわかるように、加熱温度の低い780°Cまでは、加熱時間に対する硬度の変化はみられないが、800°C以上840°Cまでは、0.5および1時間保持のものは同一硬度を、2時間保持のものは、

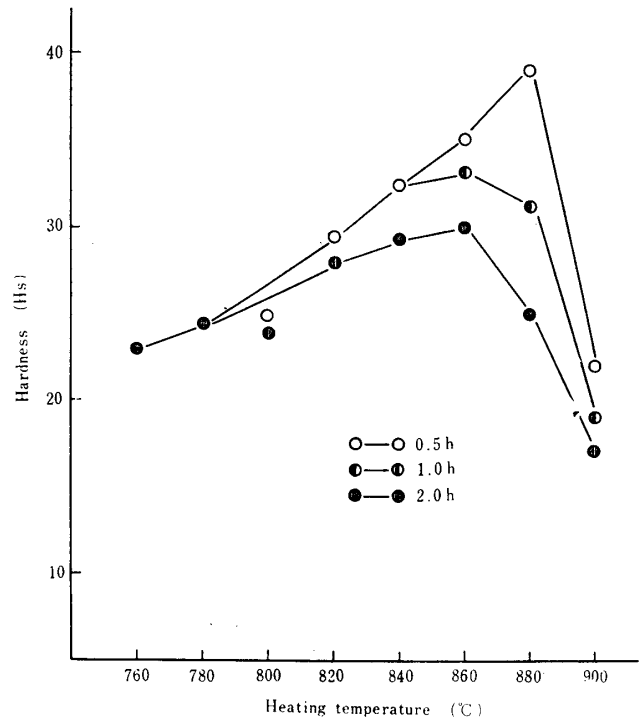
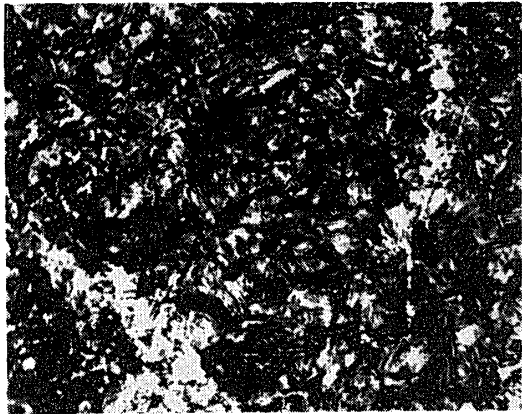


Fig. 2 Relation between hardness and heating time at quenching temperature of specimens A

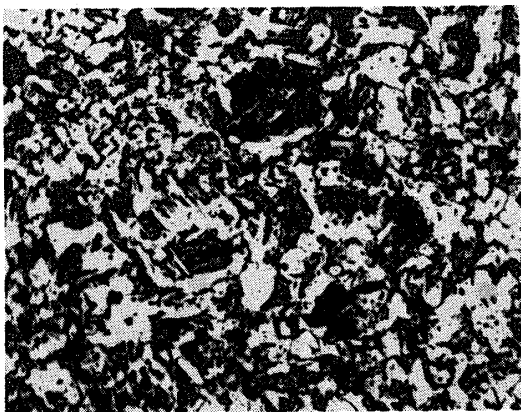
それより低い硬度になっている。また860°C以上になると、加熱時間の硬度に対する影響が明らかになっている。これは Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6および Fig. 7からもわかるように、同一加熱温度で硬度



(a)



(b)



(c)

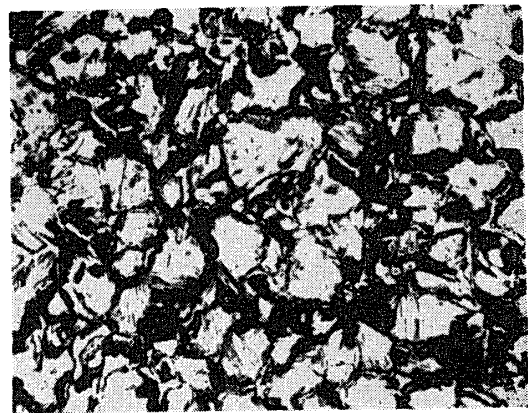
Fig. 3 Microstructure of quenching specimens A

- (a) Heated at 900°C for 0.5 h and water-quenching from 900°C
- (b) Heated at 900°C for 1.0 h and water-quenching from 900°C
- (c) Heated at 900°C for 2.0 h and water-quenching from 900°C

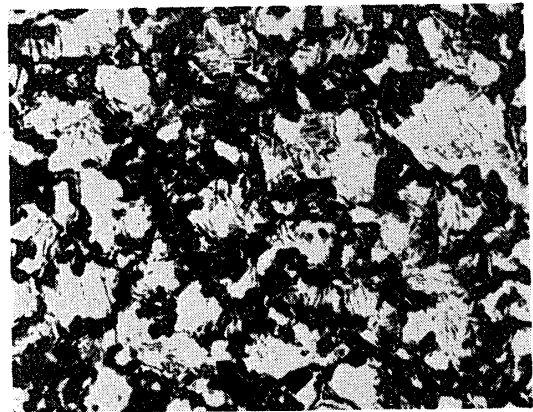
Magnif. :  $\times 320$



(a)



(b)

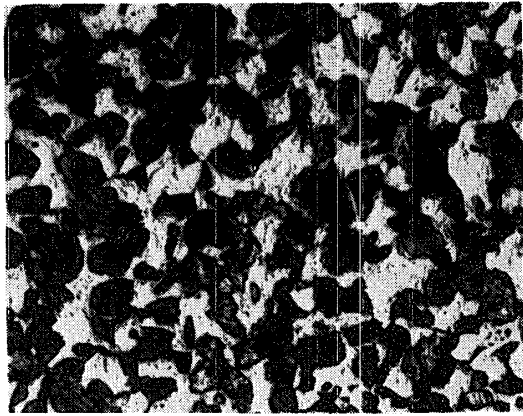


(c)

Fig. 4 Microstructure of quenching specimens A

- (a) Heated at 880°C for 0.5 h and water-quenching from 880°C
- (b) Heated at 880°C for 1.0 h and water-quenching from 880°C
- (c) Heated at 880°C for 2.0 h and water-quenching from 880°C

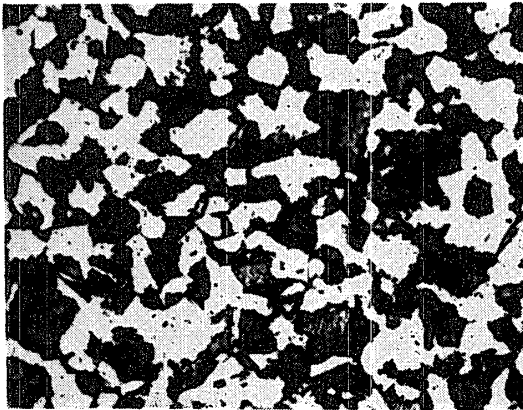
Magnif. :  $\times 320$



(a)



(b)

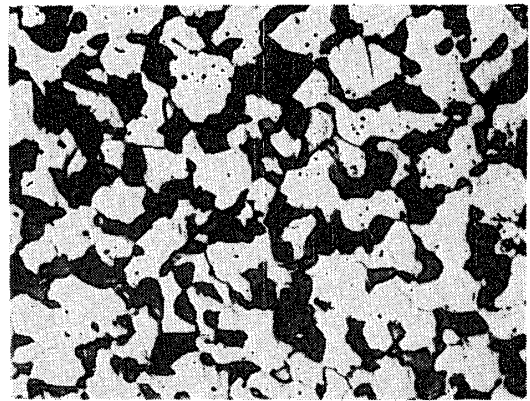


(c)

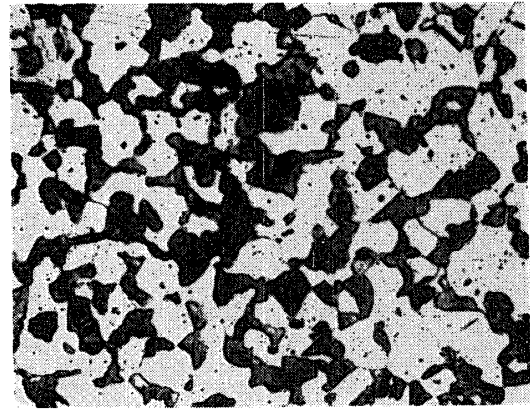
Fig. 5 Microstructure of quenching specimens A

- (a) Heated at 840°C for 0.5 h and water-quenching from 840°C
- (b) Heated at 840°C for 1.0 h and water-quenching from 840°C
- (c) Heated at 840°C for 2.0 h and water-quenching from 840°C

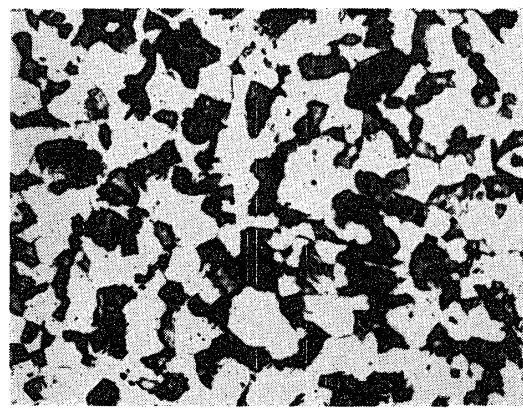
Magnif. :  $\times 320$



(a)



(b)

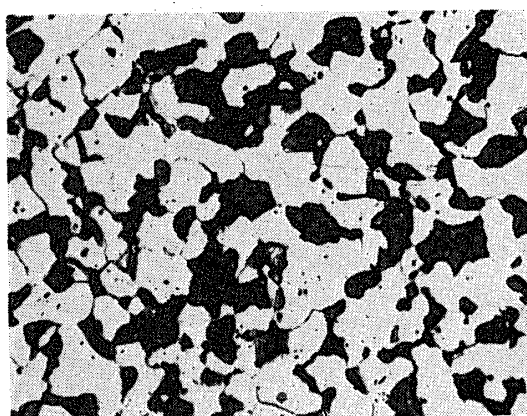


(c)

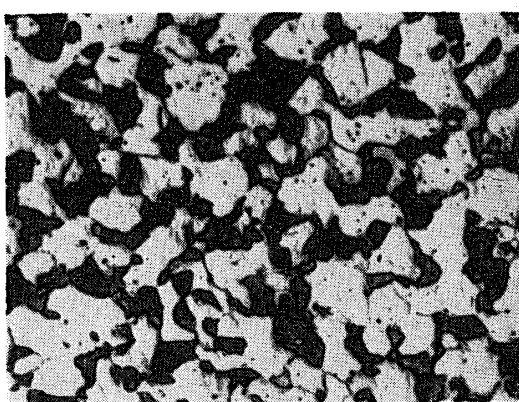
Fig. 6 Microstructure of quenching specimens A

- (a) Heated at 800°C for 0.5 h and water-quenching from 800°C
- (b) Heated at 800°C for 1.0 h and water-quenching from 800°C
- (c) Heated at 800°C for 2.0 h and water-quenching from 800°C

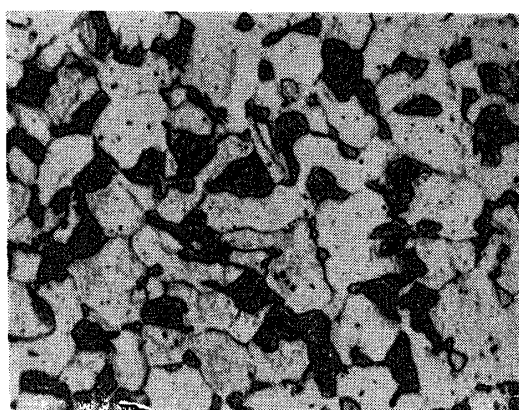
Magnif. :  $\times 320$



(a)



(b)



(c)

Fig. 7 Microstructure of quenching specimens A

- (a) Heated at 760°C for 0.5 h and water-quenching from 760°C  
 (b) Heated at 760°C for 1.0 h and water-quenching from 760°C  
 (c) Heated at 760°C for 2.0 h and water-quenching from 760°C

Magnif. : ×320

が加熱時間の短かいものに比べて低下しているものでは、すべてオーステナイトの結晶粒界、またはオーステナイトとフェライトの粒界にパーライト変態の生成物であるトルスタイトを生じている。しかも加熱温度の高くなるほど、また加熱時間の長くなるほど、その変態も進行している。この理由を考えるに、おもな原因として、脱炭による試料表面部の炭素含有量の減少が考えられる。本実験では、硬度測定面を圧延方向に直角にとつており、著者ら<sup>2)</sup>の実験によれば、脱炭の進行が著しくなつていゝと考へられる。したがつて端面を本実験のごとく研磨した場合には、その面は、まだ脱炭の影響を受けているものと思へる。このような状態のものを焼入した場合には、炭素鋼の C.C.T. 曲線からわかるように、低炭素鋼<sup>3)</sup>はその曲線の鼻の部分に左側によつてゐる。そのため同じ 10°C の水中に焼入れを行なつた場合には、加熱温度が高く、また加熱時間の長い、いわゆる脱炭作用の進行しているものでは、10°C の水焼入れに関する冷却速度曲線が炭素鋼の C.C.T. 曲線の Ps 線（パーライト変態開始曲線）と交わるようになるため、パーライト変態を起したものと思へる。しかもその変態の核となるものはオーステナイトの結晶粒界、またはオーステナイトとフェライトの粒界に多く存在していると考えられ顕微鏡組織からもわかるように、パーライト変態は粒界より起こつてゐる。また加熱温度が 880°C の場合には、脱炭もオーステナイト単一相で生じていると考えられ、加熱時間の長いものでは佐藤<sup>3)</sup>の言うように、表面から内部へ漸次炭素量の多い組織へと連続的に変化しているため、10°C の水中に焼入れを行なつた場合に、前述の C.C.T. 曲線の Ps 線と交わる以前に Fs 線（フェライト析出開始線）と交わるため、初析のフェライトをオーステナイトの結晶粒界に析出し、その周囲にパーライト変態を生じてゐる。このほか加熱温度の高い場合には、加熱時間が長くなると、後述<sup>4)</sup>するように、水中に焼入れを行なつた場合の試料表面のスケールのはく離状況に変化をきたし、それも冷却速度を多少遅らせてゐると思へる。この作用は、とくに 900°C に加熱保持した場合に著しいようである。

### 3.2 試料 B について

Fig. 8 に各加熱温度における加熱時間に対する硬度の変化を示した。これからわかるように、試料 A と同じく 780°C までは、加熱時間に対する硬度の変化はみられないが、800°C 以上の加熱温度に対しては加熱時間の硬度に対する影響が明らかになつてゐる。これも試料 A のところで考察したように、脱炭による試料

表面の炭素含有量の減少にともない10°Cの水中に焼入れを行なった場合の冷却速度曲線が、C.C.T 曲線と交わる位置の変化および水中に焼入れを行なった場合のスケールのはく離状況の変化によるものと考えられる。このことはFig. 9, Fig.10および Fig.11からもうなずける。

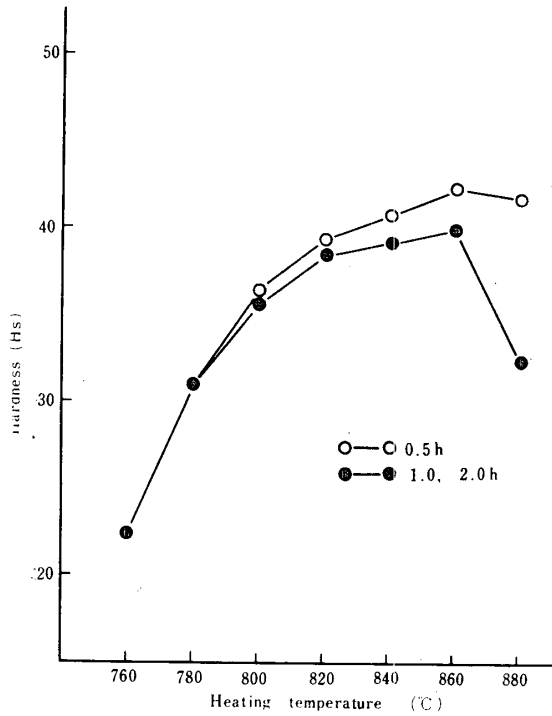
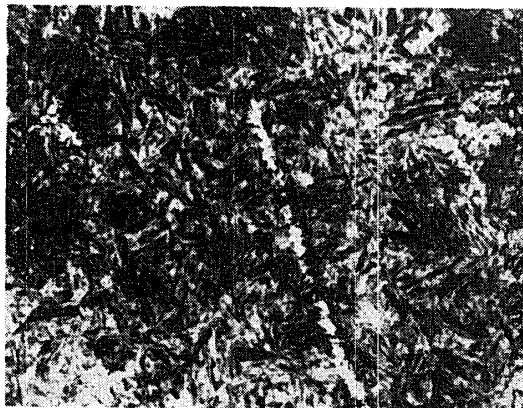
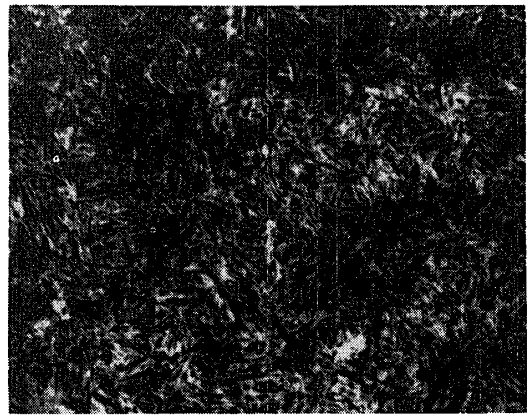


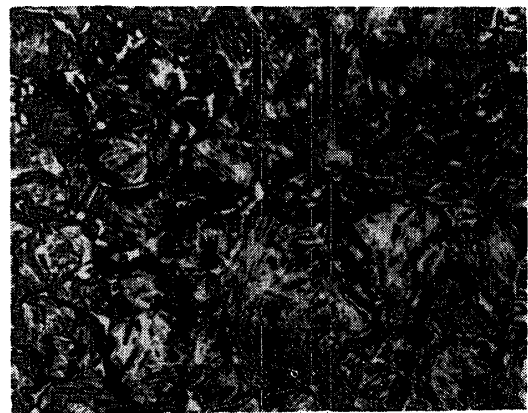
Fig. 8 Relation between hardness and heating time at quenching temperature of specimens B.



(a)



(b)



(c)

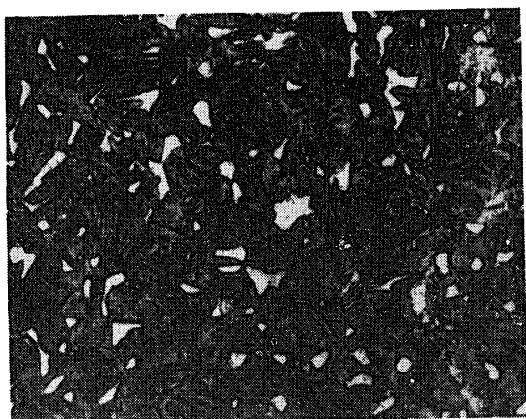
Fig. 9 Microstructure of quenching specimens B

- (a) Heated at 880°C for 0.5 h and water-quenching from 880°C
- (b) Heated at 830°C for 1.0 h and water-quenching from 880°C
- (c) Heated at 880°C for 2.0 h and water-quenching from 830°C

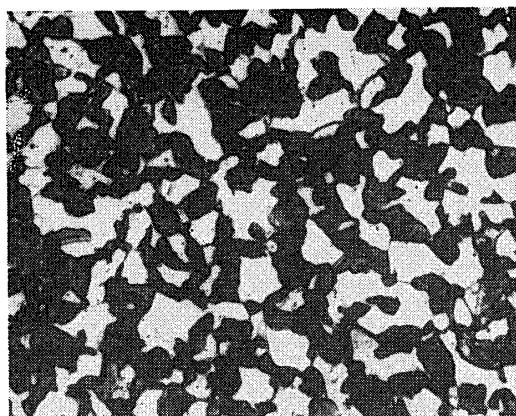
Magnif. : ×320



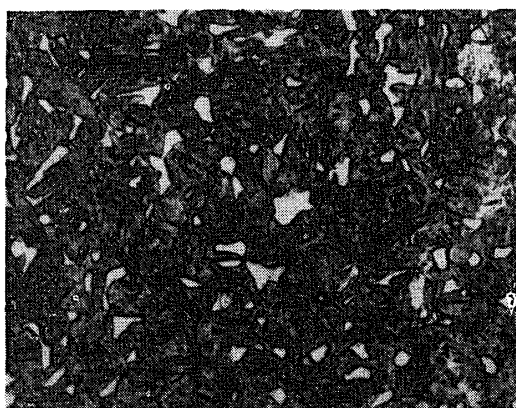
(a)



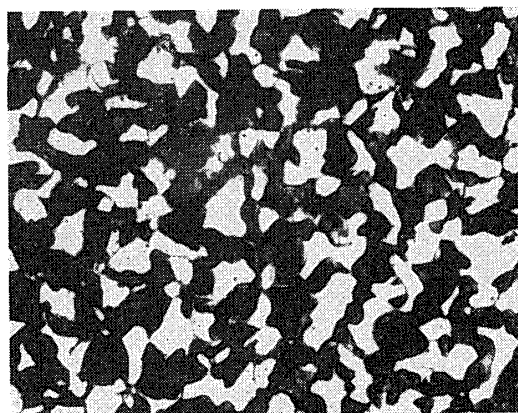
(b)



(b)



(c)



(c)

Fig.10 Microstructure of quenching specimens B

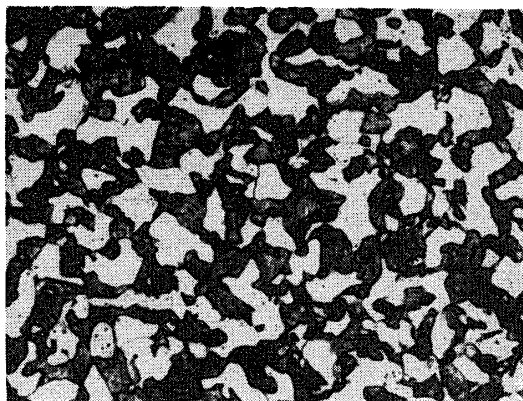
- (a) Heated at 860°C for 0.5 h and water-quenching from 860°C
- (b) Heated at 860°C for 1.0 h and water-quenching from 860°C
- (c) Heated at 860°C for 2.0 h and water-quenching from 860°C

Magnif. : ×320

Fig.11 Microstructure of quenching specimens B

- (a) Heated at 880°C for 0.5 h and water-quenching from 780°C
- (b) Heated at 780°C for 1.0 h and water-quenching from 780°C
- (c) Heated at 780°C for 2.0 h and water-quenching from 780°C

Magnif. : ×320



(a)

Vol.18, No.1 (1967)

### 3.3 試料Cについて

Fig. 12 に各加熱温度における加熱時間に対する硬度の変化を示した。これからわかるように、試料Aと大差はないが、加熱温度が820°Cおよび840°Cの場合をみると、0.5および1時間保持のものは同一の一定硬度を示している。一方2時間保持のものは前者よりも一段低い一定硬度を示している。これはFe—Fe<sub>3</sub>C系状態図からわかるように、820°Cおよび840°CいずれもA<sub>3</sub>変態点以上の温度になっており、一端A<sub>3</sub>変態点を通過すれば20°C位の温度の高低は、2時間加熱までの場合には硬度には大差がないことを示してい



る。このことは内藤<sup>5)</sup>の言うように、脱炭深さが加熱温度に無関係に一定であることからもうなずける。また水中に焼入れを行なった場合のスケールのはく離状況の変化もないものと考えられる。Fig.13, Fig.14 および Fig.15に顕微鏡組織を示す。

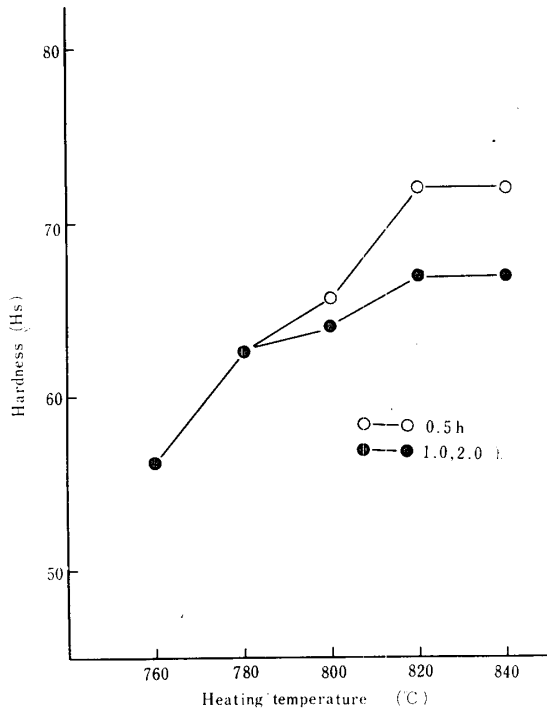
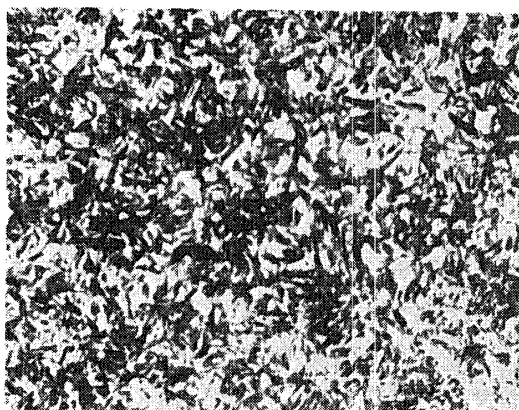
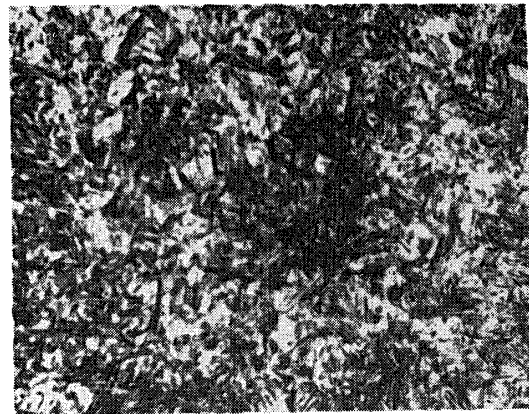


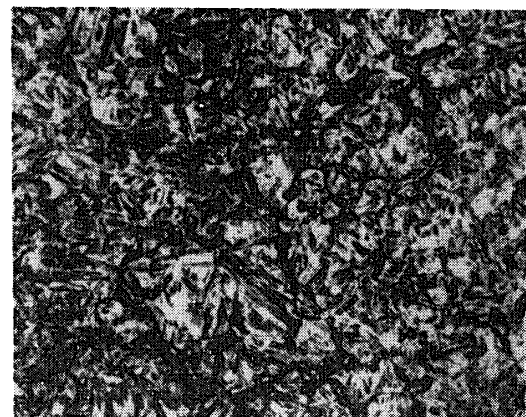
Fig.12 Relation between hardness and heating time at quenching temperature of specimens C



(a)



(b)

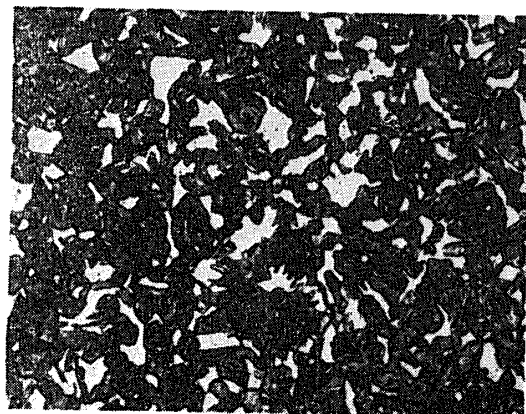


(c)

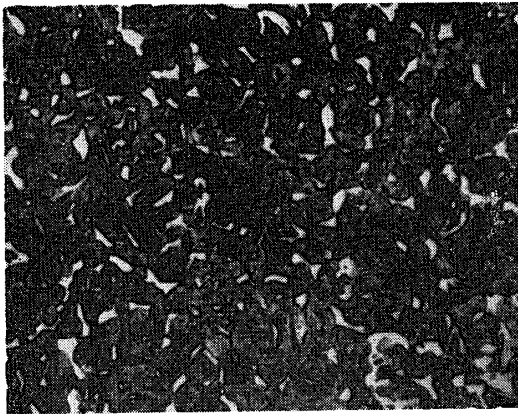
Fig.13 Microstructure of quenching specimens C

- (a) Heated at 840°C for 0.5 h and water-quenching from 840°C
- (b) Heated at 840°C for 1.0 h and water-quenching from 840°C
- (c) Heated at 840°C for 2.0 h and water-quenching from 840°C

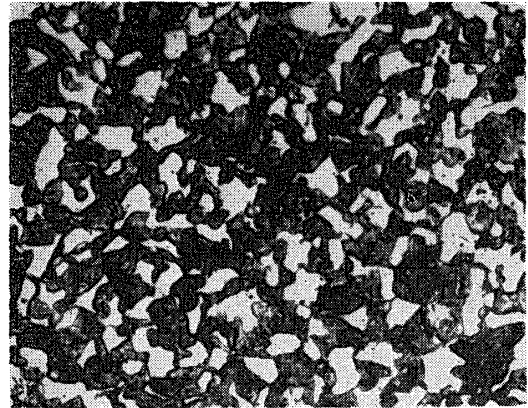
Magnif. : × 320



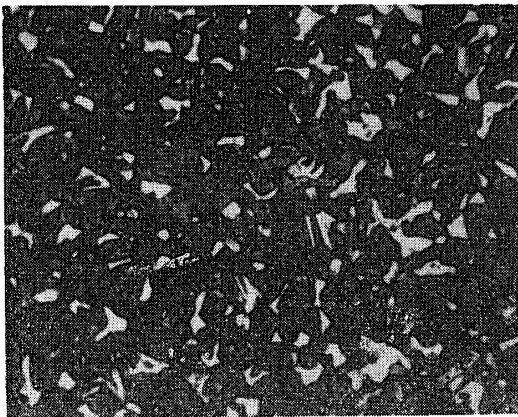
(a)



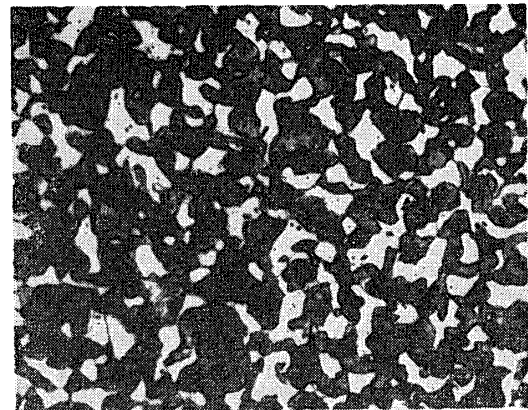
(b)



(b)



(c)



(c)

Fig.14 Microstructure of quenching specimens C

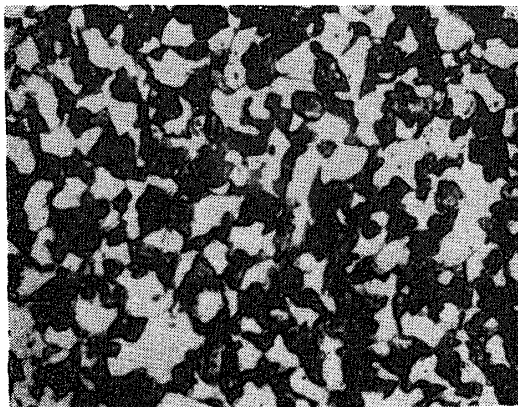
- (a) Heated at 800°C for 0.5 h and water-quenching from 800°C
- (b) Heated at 800°C for 1.0 h and water-quenching from 800°C
- (c) Heated at 800°C for 2.0 h and water-quenching from 800°C

Magnif. :  $\times 320$

Fig.15 Microstructure of quenching specimens C

- (a) Heated at 760°C for 0.5 h and water-quenching from 760°C
- (b) Heated at 760°C for 1.0 h and water-quenching from 760°C
- (c) Heated at 760°C for 2.0 h and water-quenching from 760°C

Magnif. :  $\times 320$



(a)

### 3.4 試料Dについて

Fig. 16 に各加熱温度における加熱時間に対する硬度の変化を示す。これからわかるように、すべて同一硬度を示している。これは加熱温度が比較的低いため脱炭作用も弱く、しかも水中に焼入れを行なった場合のスケールのはく離状況の変化もないものと考えられる。このことは Fig.17および Fig.18からもうなずける。

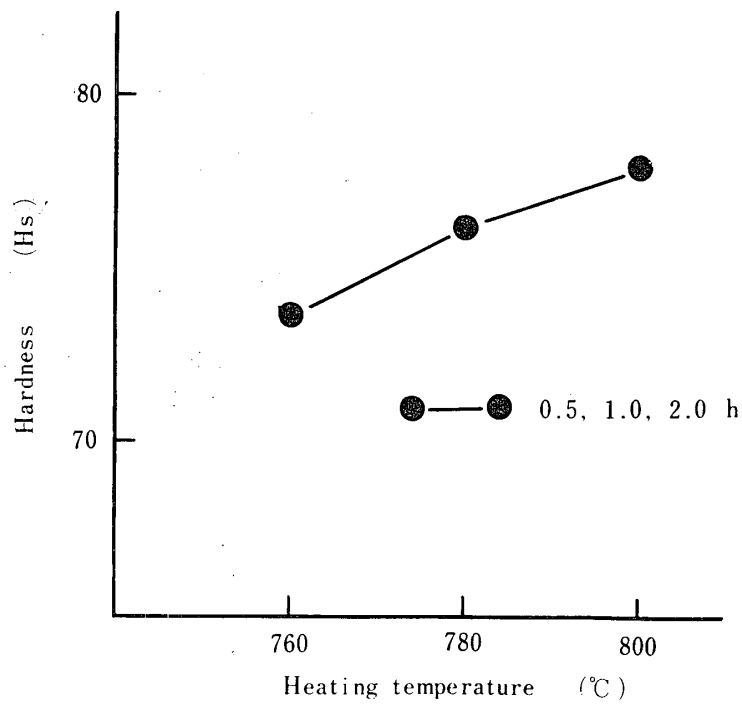
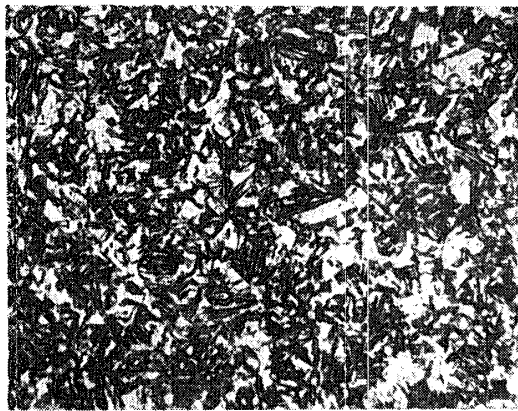
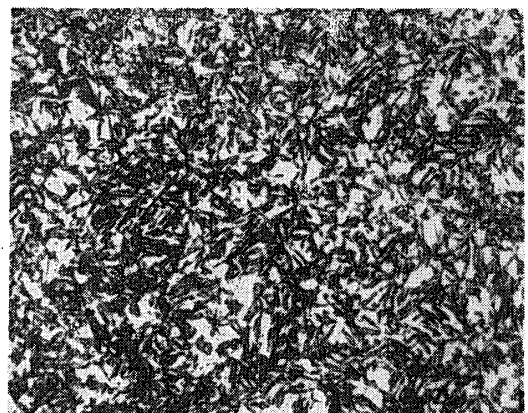


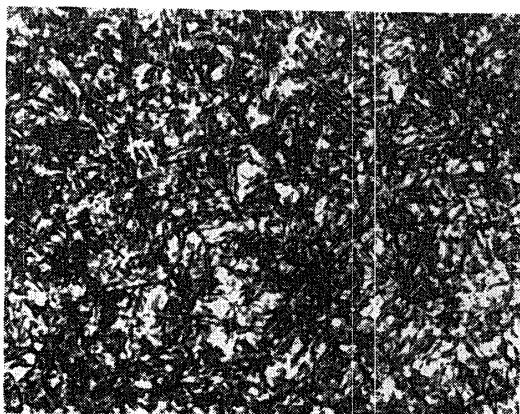
Fig.16 Relation between hardness and heating time at quenching temperature of specimens D.



(a)



(c)

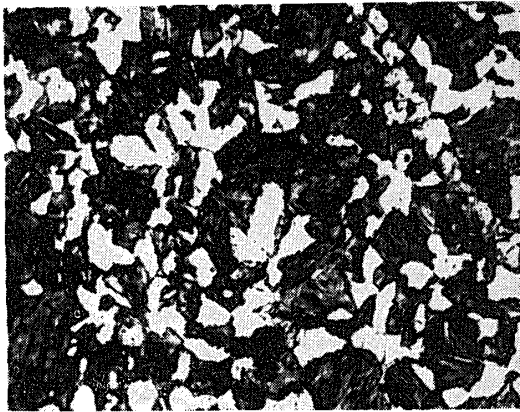


(b)

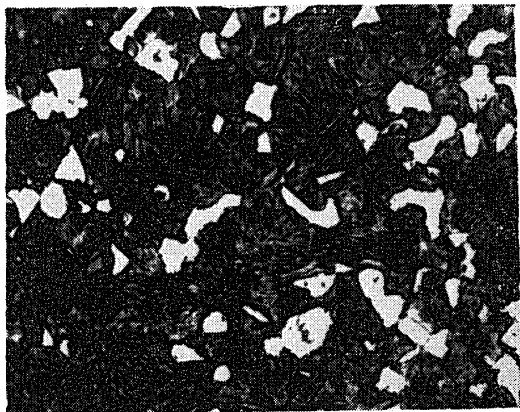
Fig.17 Microstructure of quenching specimens D

- (a) Heated at 800°C for 0.5 h and water-quenching from 800°C
- (b) Heated at 800°C for 1.0 h and water-quenching from 800°C
- (c) Heated at 800°C for 2.0 h and water-quenching from 800°C

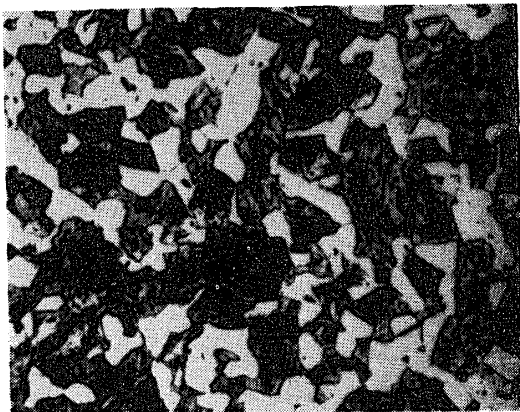
Magnif. :  $\times 320$



(a)



(b)



(c)

Fig.18 Microstructure of quenching specimens D

- (a) Heated at 760°C for 0.5 h and water-quenching from 760°C  
 (b) Heated at 760°C for 1.0 h and water-quenching from 760°C  
 (c) Heated at 760°C for 2.0 h and water-quenching from 760°C

Magnif. :  $\times 320$

### 3.5 試料Eについて

Fig. 19 に各加熱温度における加熱時間に対する硬度の変化を示した。これからわかるように、加熱温度の低い770°Cまでは、Fig. 1 (E)に示したように焼準状態において、すでに存在していた粒状セメンタイトの溶解のためには赤須<sup>6)</sup>の言うように、かなりの時間がかかるようで、そのためにほかの試料とは逆に加熱時間の長いものほど高い硬度を示している。つぎに加熱温度が790°Cになると、すでに0.5時間の加熱でも粒状セメンタイトはオーステナイト中に溶けこみ、均一なオーステナイトになっていると考えられる。このことは、Fig. 20および Fig. 21からもうなずける。なお

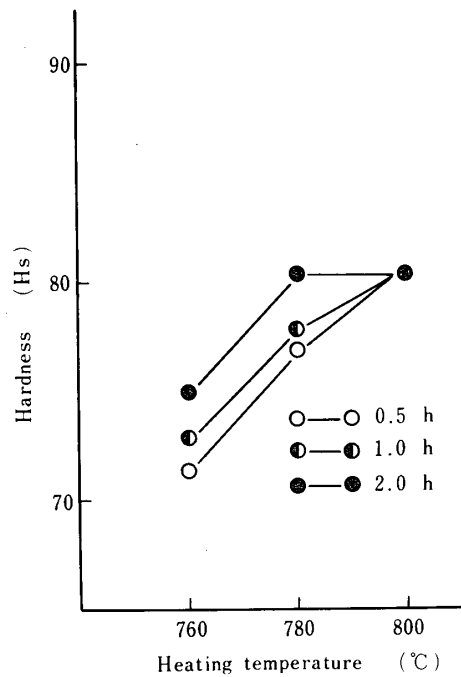
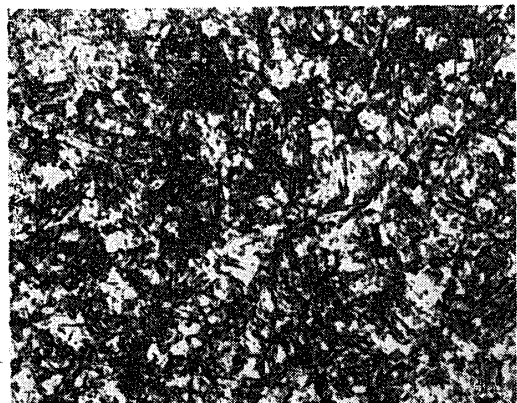
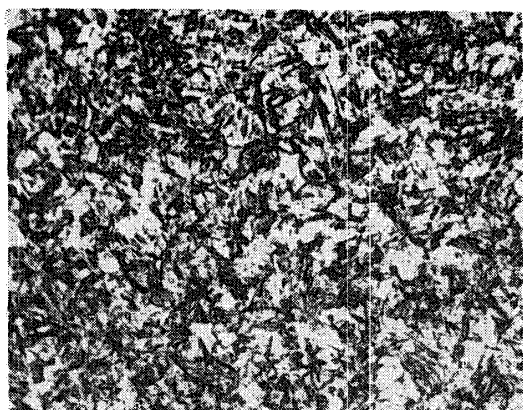


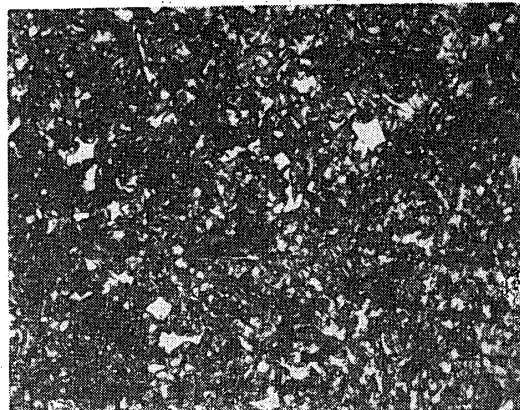
Fig.19 Relation between hardness and heating time at quenching temperature of specimens E



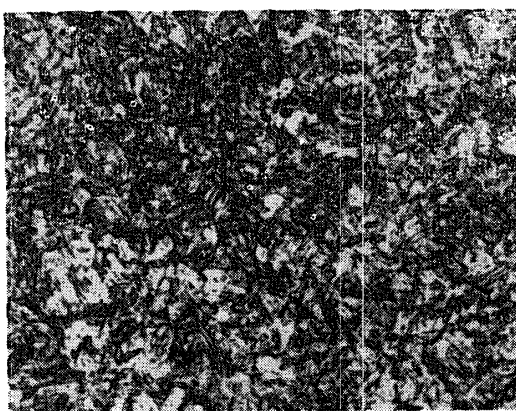
(a)



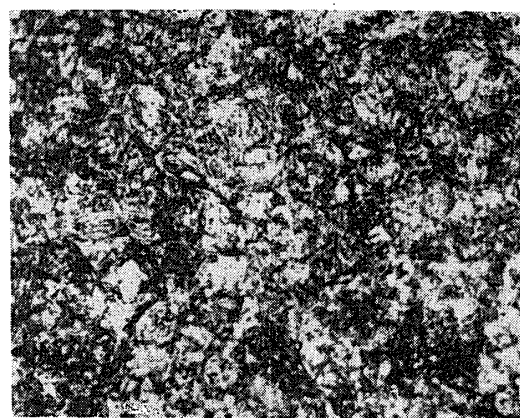
(b)



(b)



(c)



(c)

Fig.20 Microstructure of quenching specimens E

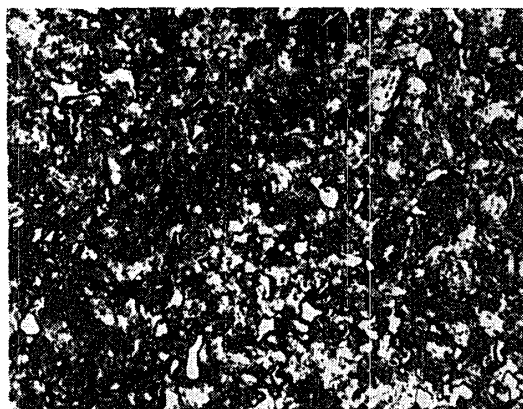
- (a) Heated at 790°C for 0.5 h and water-quenching from 790°C
- (b) Heated at 790°C for 1.0 h and water-quenching from 790°C
- (c) Heated at 790°C for 2.0 h and water-quenching from 790°C

Magnif. : ×320

Fig.21 Microstructure of quenching specimens E

- (a) Heated at 750°C for 0.5 h and water-quenching from 750°C
- (b) Heated at 750°C for 1.0 h and water-quenching from 750°C
- (c) Heated at 750°C for 2.0 h and water-quenching from 750°C

Magnif. : ×320



(a)

長時間加熱による脱炭の影響があらわれていないのは、比較的加熱温度が低く脱炭作用が弱く、顕微鏡組織観察の研磨のために脱炭層は除去されたものと考えられる。また水中に焼入れを行なった場合のスケールのはく離状況の変化もないものと考えられる。

#### 4. 結 言

炭素含有量のことなる S10C, S20C, S30C, S50C および SK 7 について, A<sub>1</sub> 変態点以上の 760°C より最適焼入温度までの温度に最高 2 時間まで加熱保持した場合の焼入組織と硬度の関係について検討した。その

結果を要約するとつぎのとおりである。

(1) 加熱温度が787°Cまでは、加熱時間の長短にかかわらず同一硬度を示す。

(2) 加熱時間の増加につれて硬度の低下する原因はつぎの2つである。

(a) 加熱温度の上昇にともない、試料表面の脱炭作用が著しくなり、炭素鋼のC.C.T.曲線の鼻の部分が低炭素鋼になるほど左側によつてゐるため、10°Cの水中に焼入れを行なつた場合の冷却速度曲線がC.C.T.曲線のPs線およびFs線と交わるようになるため、パーライト変態および初析フェライトの析出を起す。

(b) 加熱温度の上昇にともない、水中に焼入れを行なつた場合に、試料表面のスケールのはく離状況の変化が冷却速度を多少おそくしているようである。

(3) 炭素含有量の多いものは、少ないものに比べて最適焼入温度における加熱時間の硬度におよぼす影響は少ないようである。

#### 参 考 文 献

- 1) 大和久重雄：“P.P.熱処理”，オーム社，p.190 (1964)。
- 2) 福井昂，時弘義雄：山口大学工学部研究報告，17，49 (1966)。
- 3) 佐藤知雄：“鉄鋼の顕微鏡写真と解説”，丸善，p.72 (1963)。
- 4) 時弘義雄，福井昂：山口大学工学部研究報告，18 (1967)，(投稿中)。
- 5) 内藤逸策：鉄と鋼，22，19 (1937)。
- 6) 赤須英夫：日本金属学会誌，30，201 (1966)。

(昭和42年4月10日受理)