

普通炭素鋼の焼入組織に関する研究

(第3報 Widmanstätten 組織の形成におよぼす結晶粒度の影響)

福井 昂*・時弘 義雄*

Study on the Quenched Structure of a Plain Carbon Steel.

(3rd Report)

Effect of Grain Size on the Formation of Widmanstätten Structure.

Takashi FUKUI and Yoshio TOKIHIRO

Abstract

In preceding report^{1),2)}, the present investigators studied on the quenched structure of a plain carbon steel. The results, it were truly plain that the drop of hardness was effected by the thickness of the oxide layer covering the carbon steel, which grew while heating the steel in the air, and the longer heating time was, the lower quenching hardness for low carbon steel was. But, low carbon steels formed the Widmanstätten structure.

In this paper, the present investigators studied the effect or relationship of the thickness of the oxide layer covering the carbon steels and coarseness of grain size on the formation of Widmanstätten structure of carbon steels with carbon 0.105, 0.208 and 0.32 preceded by normalizing at appropriate temperature through means of microstructure.

The results obtained may be summarised as follows:

- (1) When specimen B heats for 8 hours at 880°C, the specimen B becomes duplexed structure.
- (2) Formation of Widmanstätten structure is very effected by the austenite grain size.
- (3) In order to produce the typical Widmanstätten structure it is necessary to determine cooling rate from A₃ arrest line.
- (4) Formation of Widmanstätten structure is differed by carbon content.

1. 緒 言

著者らは前報^{1),2)}において、市販の機械構造用炭素鋼、S10C、S20C、S30C、S50CおよびSK7を使用して焼入組織に関する研究を行なった。すなわち、A₁変態点から最適焼入温度まで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硬度と組織より検討した。その結果、いずれの加熱温度に対しても長時間加熱すると、その焼入硬度は短時間加熱のものより低下することが明らかになった。つぎに顕微鏡組織の変化をみると、硬度の低下を起しているものは、すべて

パーライト変態を生じている。また炭素含有量別にみると、炭素含有量の少ないものほど硬度の低下を始める時間が短時間側にずれていることも明らかになった。そこで、この原因を前報²⁾では高温加熱によつて鋼表面に生じたスケールのはく離性の相違が冷却速度を変化させるとした。この冷却速度の低下によつてS10CおよびS20CではWidmanstätten組織も生じた。したがつて、今回はS10C、S20CおよびS30CについてWidmanstätten組織の形成過程を、スケールによる冷却速度の低下および長時間加熱による結晶粒度粗大化の観点より、おもに顕微鏡組織による実験を行なったので、その結果を報告する。

* 工業短期大学部機械工学教室

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 (S K 7)	0.64	0.25	0.44	0.015	0.008	tr	0.04	0.31

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で、実験にさいしては、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。

2.2 熱処理

試料の熱処理は、すべて電気マッフル炉を用いて空气中で行なつた。まず所定の熱処理に先立つて、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時間保持したのち、空中(平均20°C)冷却した。この各試料の焼準組織は前報¹⁾に示したものと同様である。温度調節は電子管式調節器(±2°C)で行なつた。つぎに所定の熱処理のための加熱温度は、各試料とも880°Cおよび950°Cとし、それぞれの温度に8時間保持したのち、軽くかくはんした水中(0°C, 20°Cおよび50°C)急冷、空中冷却および炉中冷却した。なお空中冷却および炉中冷却のものには、加熱温度に6時間保持して冷却した試料もある。

Table 2 Normalizing temperature of specimens

Specimen	A	B	C	D	E
Normalizing temperature (°C)	900	830	850	800	760

2.3 顕微鏡による組織観察

試料は脱炭層を除去するために端面をマイクロカッターで5mmほど切断し、高速鏡面仕上機で研磨し、バフ仕上を行なつた。腐食は5%ピクリン酸アルコール溶液で行なつた。組織の観察は各試料について、所定の熱処理ごとの顕微鏡写真をとり、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。測定にあつては、各試料とも顕微鏡組織の観察を行なつたものについて5個所を測定し、その平均値をもつて硬度とした。なお硬度はマルテンサイト時効の影響を考慮して、その時効硬化が完了すると思われる10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³⁾よりショア硬度に換算して示した。

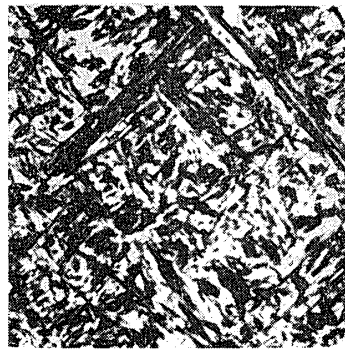
3. 実験結果および考察

3.1 実験結果

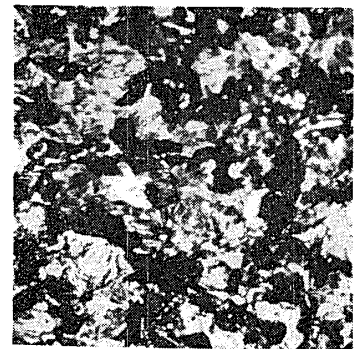
Fig. 1に880°Cで8時間加熱したのち、水中(20°C)に急冷した各試料の組織を示す。これからわかるように、前報²⁾と同様にS10CおよびS20Cでは、形状的なちがいはあるがWidmanstätten組織を生じている。なおS50CおよびSK7は前報²⁾に比べて加熱温度を高くしたために、水中急冷を行なつた場合の試料表面のスケールのほく離状況に大きな変化をきたし、オーステナイト粒界に生じたと思われるトルースタイトが大きくなっているようである。つぎに、このWidmanstätten組織が冷却速度によりいかに変化するかをみるために、試料S10C, S20CおよびS30Cを用いて880°Cに8時間保持したのち、水中(0°Cおよび50°C)に急冷した組織をFig. 2およびFig. 3に示す。これからわかるように、S10Cにおいては冷却水温の上昇と共にパーライトコロニーが肥大している。またS20Cでは後に述べるように、部分によつて組織に大きな相違があるが、各部分についてはこの程度の冷却速度のちがいで顕微鏡組織的にはほとんどちがいがいがないようである。Fig. 4はS20Cの試料内部の部分によつて組織が非常に相違している模様を示したものである。つぎにこの原因を検討するために、S20Cを880°Cに8時間保持して空中冷却および炉中冷却した。この組織をFig. 5に示す。また加熱時間の短い場合の変化をみるために、880°Cに6時間保持して空中冷却した組織をみるに、Fig. 5と同様にすでに結晶粒の粗大化がおこつていた。これからわかる



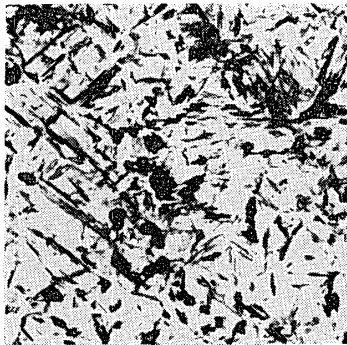
Specimen A



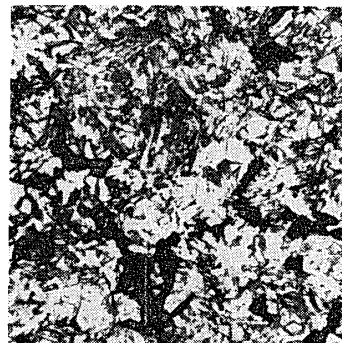
Specimen B



Specimen C



Specimen D



Specimen E

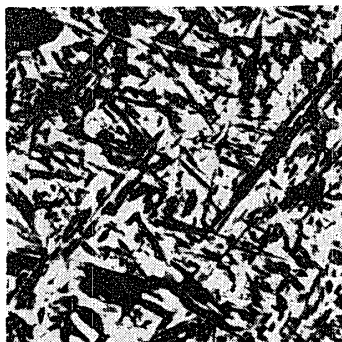
Fig.1 Microstructure of specimens which were heated at 880°C for 8 hr and quenched in water (20°C) Magnif. : ×320



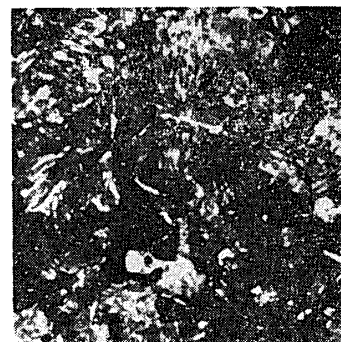
Specimen A (×320)



Specimen B (×320)



Specimen B (×100)



Specimen C (×320)

Fig.2 Microstructure of specimens which were heated at 880°C for 8 hr and quenched in water (0°C)

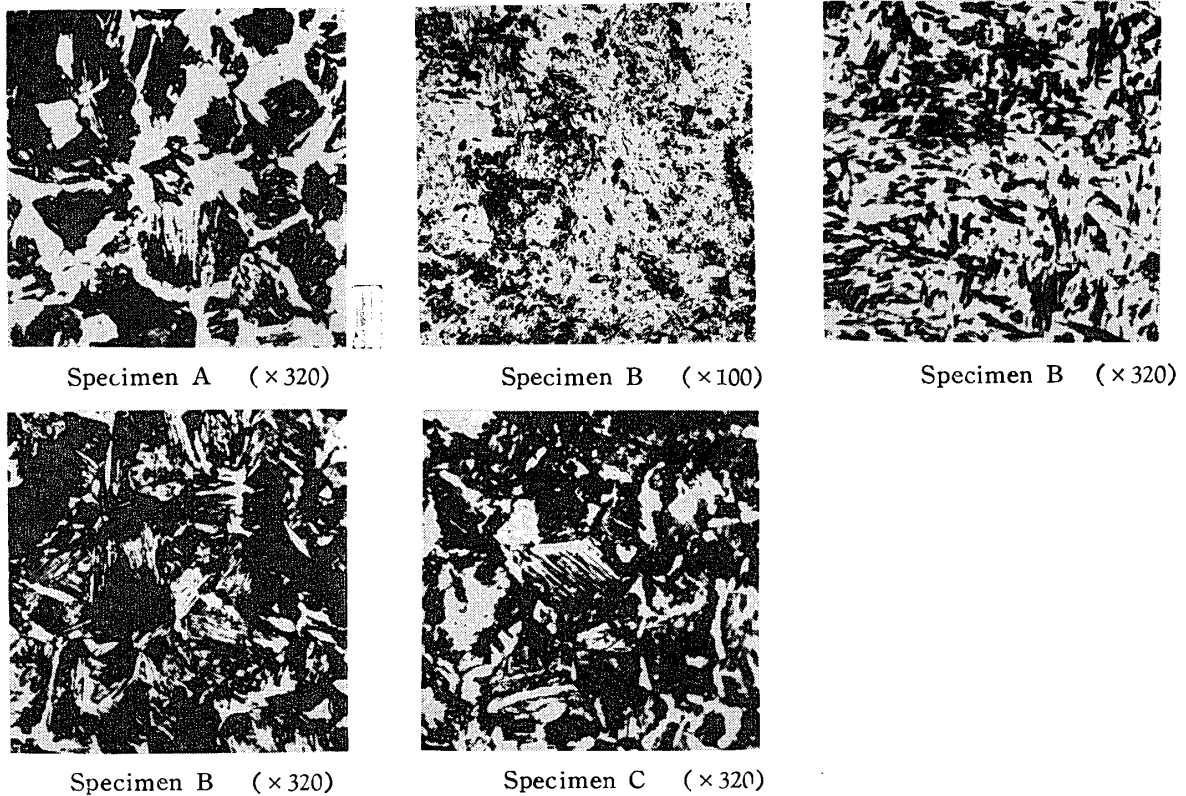


Fig.3 Microstructure of specimens which were heated at 880°C for 8 hr and quenched in water (50°C)



Fig.4 Microstructure of duplexed structure of specimens B
 (a) Duplexed structure which was heated at 880°C for 8 hr and quenched in water (0°C)
 (b) Duplexed structure which was heated at 880°C for 8 hr and quenched in water (50°C)
 Magnif. : ×100

ように、S20Cでは880°Cに6時間以上保持すると結晶粒の粗大化が部分的におこつて一種の混粒状態になっていると思われる。これは Fig. 4 からもうなづける。この結晶粒の著しい不均一が結晶粒粗大化の過程であるのか、または本実験に使用したS20Cに特有の現象であるのかを検討するために、S10CおよびS30Cと共に950°Cに6時間保持したのち、炉中冷却した組織を Fig. 6 に示す。またその時、水中(0°C)に

急冷した組織を Fig. 7 に示す。これからわかるように、950°Cに6時間も保持すると、すべての試料に極端な結晶粒の粗大化がおこっていることが明らかになり、880°Cに8時間保持した場合のS20Cの部分による組織の不均一は、結晶粒粗大化の過程における混粒状態であることが判明した。Fig. 7 からS30Cについても、高温に加熱すれば Widmanstätten 組織を生ずることがわかる。以上述べたように、加熱温度が

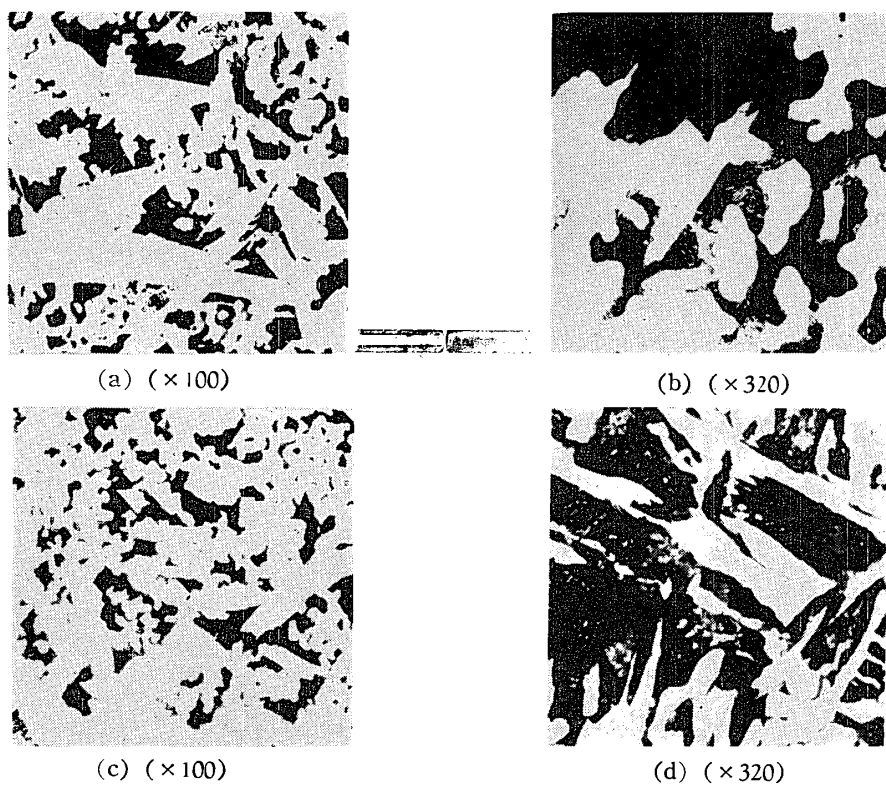


Fig.5 Microstructure of specimens B

(a) and (b) which were heated at 880°C for 8 hr and furnace-cooled from 880°C
 (c) and (d) which were heated at 880°C for 8 hr and air-cooled from 880°C

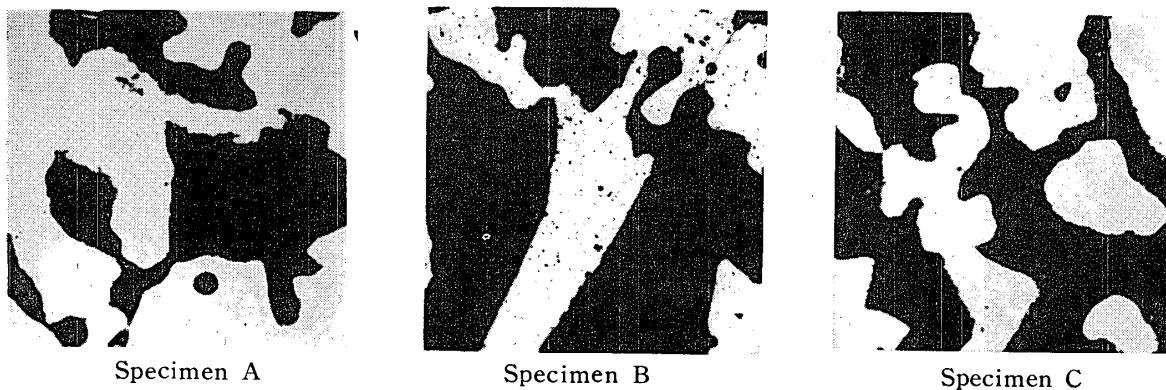


Fig.6 Microstructure of specimens which heated at 950°C for 6 hr and furnace-cooled from 950°C
 Magnif. : × 320

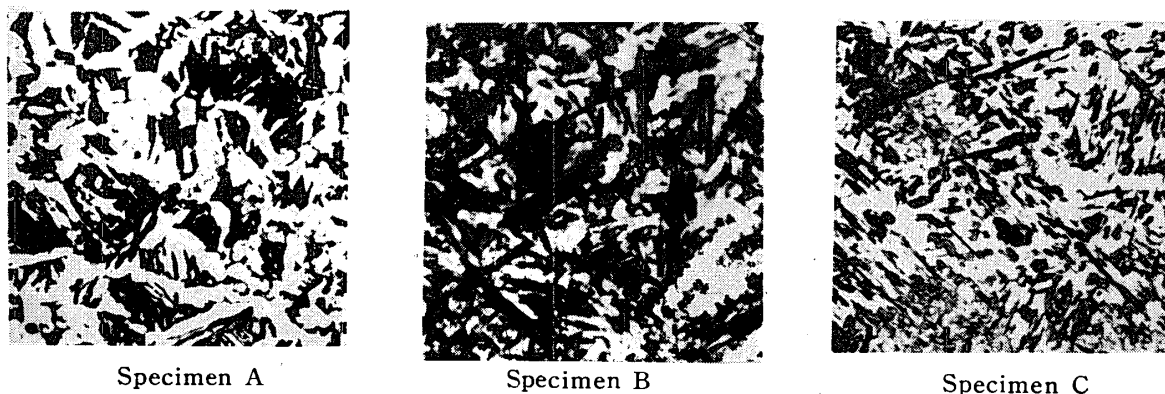


Fig.7 Microstructure of specimens which were heated at 950°C for 6 hr and quenched in water (0°C)
 Magnif. : × 320

高いもの、および加熱時間を長くして結晶粒が粗大化したものは、これを水中に急冷すると、すべて冷却水温に関係なく Widmanstätten 組織を形成することが明らかになった。

3.2 結果に対する考察

つぎに、かかる Widmanstätten 組織の形成と熱処理条件について考察してみる。亜共析鋼をオーステナイト域の温度で長時間加熱して均一なオーステナイト組織としたのち、比較的ゆつくり冷却してくると A₃ 線に達して初析フェライトを生ずる。この初析フェライトの核は主としてオーステナイトの結晶粒界に発生し、普通の場合はオーステナイト粒界に沿って優先成長するが、とくにオーステナイトの結晶粒が非常に大きく、A₃ 線からの過冷度が著しいときは、初析フェライトはオーステナイト粒内に向つて板状、針状あるいは鋸歯状に発達する⁴⁾。これが Widmanstätten 組織である。板状あるいは鋸歯状に発達したフェライト結晶粒の平面境界はオーステナイトの {III} γ 面に平行になっている⁵⁾。またオーステナイト結晶とフェライト結晶との間には Kurdjumow-Sacks の方位関係、

すなわち

$$(III) \gamma \parallel (II) \alpha \quad [\bar{1}\bar{1}0] \gamma \parallel [\bar{1}\bar{1}\bar{1}] \alpha$$

の結晶方位関係がある。前報²⁾で述べたように S10C、S20C および S30C のような低炭素鋼では、880°C に 8 時間も加熱すると炭素含有量に関係なくスケール厚さは、ほぼ一定であると考えられる。したがって本実験の場合、Widmanstätten 組織の形成に影響する因子は結晶粒の粗大化のみと考えられ、この点より実験結果をみると、950°C に加熱した場合を除いては、すべて結晶粒の粗大化が著しくおこっている S20C が典型的な Widmanstätten 組織を示している。また冷却速度との関係は S30C では冷却速度が遅くなるほど Widmanstätten 組織が鮮明になっているようである。これはオーステナイト結晶粒の粗大化が Widmanstätten 組織の形成を促進すると同時に焼入性を高める作用をもっていることから説明できる。すなわち、オーステナイト結晶粒の粗大化と A₃ 線からの過冷度の著しいことは共に Widmanstätten 組織の形成を促進するが、A₃ 線からの過冷度の Widmanstätten 組織の形成に対する作用はオーステナイト結晶粒に大きく影響されるようである。一方焼入性について考えると、冷却速度が非常に大きな影響をもっている。このため結晶粒が一定の場合には、50°C の水中冷却ではかなり冷却速度が低下するため、完全な焼

入組織とならず A₃ 線からの過冷度の条件を満足して部分的に多少 Widmanstätten 組織を形成したものと考えられる。したがって、結晶粒度を一定にすると、Widmanstätten 組織の形成のための A₃ 線からの過冷度には炭素鋼の種類により限定された範囲があるものと考えられる。つぎに冷却水温と硬度の関係についてみるに、Fig. 8 からわかるように組織的には大差がみとめられないものについても急冷による格子の歪の他に吉岡⁶⁾のいつているように、水中急冷は冷却速度が過大なため、その自由エネルギーは冷却水温によつてかなり異なり、これが塑性変形に対して抵抗を有するために硬度には差異があらわれている。

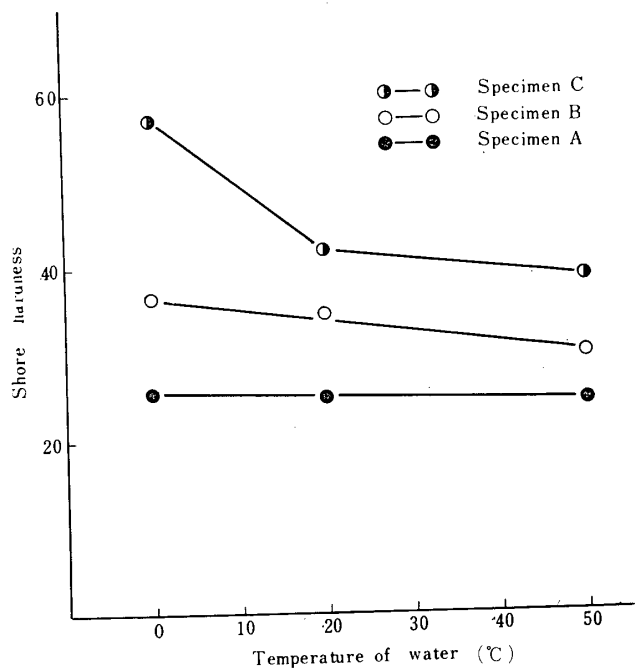


Fig. 8 Relation between quenched hardness and temperature of cooling water

4. 結 言

以上、得られた結果を要約すると、つぎのとおりである。

- (1) 830°C に 8 時間加熱すると S20C は著しい混粒状態になる。
- (2) Widmanstätten 組織の形成にはオーステナイト結晶粒が大きな影響を与える。
- (3) 典型的な Widmanstätten 組織を形成するためには、結晶粒を一定とすれば A₃ 線からの過冷度には限定された範囲がある。
- (4) Widmanstätten 組織の形成条件は炭素含有量により相当異なっているようである。

おわりに本実験を行なうにあたり終始御激励を賜わ
つた山口大学教育学部杉宏三教授に深く感謝の意を表
わす。

参 考 文 献

- 1) 福井 昂, 時弘義雄 : 山口大学工学部研究報告, **18**, 1 (1967),
43.
- 2) 時弘義雄, 福井 昂 : 山口大学工学部研究報告, **18**, 2 (1967),
7.
- 3) 大和久重雄 : “P.P. 熱処理”, オーム社, (1964), p. 190.
- 4) H. I. Aaronson : *Decomposition of Austenite by
Diffusional Processes*, edited by V. F. Zackay, H. I.
Aaronson, (1962), p. 387.
- 5) R. F. Mehl, C. S. Barrett, D. W. Smith : *Trans.
Amer. Inst. Min. & Met. Eng.*, **105** (1953), 215.
- 6) 吉岡正三 : “金属学序説” コロナ社, (1959), p. 172.

(昭和42年10月18日受理)