

# 軸受鋼の焼入性におよぼす球状化セメンタイト 粒度の影響

渡 辺 準 平\*      宇和野 晃 三\*\*

## Effects of Spheroidal Cementite Size on the Hardenability of Bearing Steel

By Jumpei Watanabe and Kōzo Uwano  
Hitachi-Mito Branch Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

Effects of the size of spheroidal cementite and its distribution on the hardenability of bearing steel were studied by the writers using the transformation point measuring method and the Jominy test. From the results obtained, the writers could clarify the fact that the hardenability of bearing steel was not only concerned with cementite size, as has been reported by many researchers, but the state of distributed cementite. In another words, the hardenability is not always decreased as the cementite grows in size, and there is a critical limit for the cementite size, where the size of spheroidal cementite, its distribution and the quenching temperature are brought in a certain relation to give the steel the maximum hardenability.

### 〔I〕 緒 言

軸受鋼は焼入前にセメンタイトを球状化して使用するのであるが、セメンタイト粒の大小によつて焼入性に差があることは近藤氏始め多くの研究者<sup>(1)~(4)</sup>によつてあきらかにされている。

筆者らは軸受鋼第3種の焼入性を検討して球状化セメンタイト粒度が焼入性に及ぼす影響をおよぼすほか、結晶粒度や変態の遅速に関する微細介在物が変態核として大いに影響することを知つた。すなわち球状化セメンタイト粒度がほぼ同一であつても、一次の結晶粒度が異なれば焼入深度に著しく差のあることおよびセメンタイト粒の分布の粗なるものが密なるものに比べて焼入深度が深いことをしばしば経験したので、特に後者についてセメンタイト粒の大きさおよび焼入温度を種々変化して冷却変態の生起状況を調査した。またジョミニー焼入曲線を求めてセメンタイト粒度、焼入温度および焼入深度との関係を調査した。

### 〔II〕 供試材および実験方法

#### (1) 供試材の化学成分

本実験に使用した供試材は塩基性電気炉で熔製された

\* \*\* 日立製作所日立水戸分工場

第1表 試料の化学成分(%)

Table 1. Chemical Composition of Test Materials

試料	化 学 成 分 (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
A	1.07	0.45	0.94	0.011	0.016	0.13	0.08	1.05
B	0.96	0.54	1.00	0.011	0.010	0.12	0.07	1.04

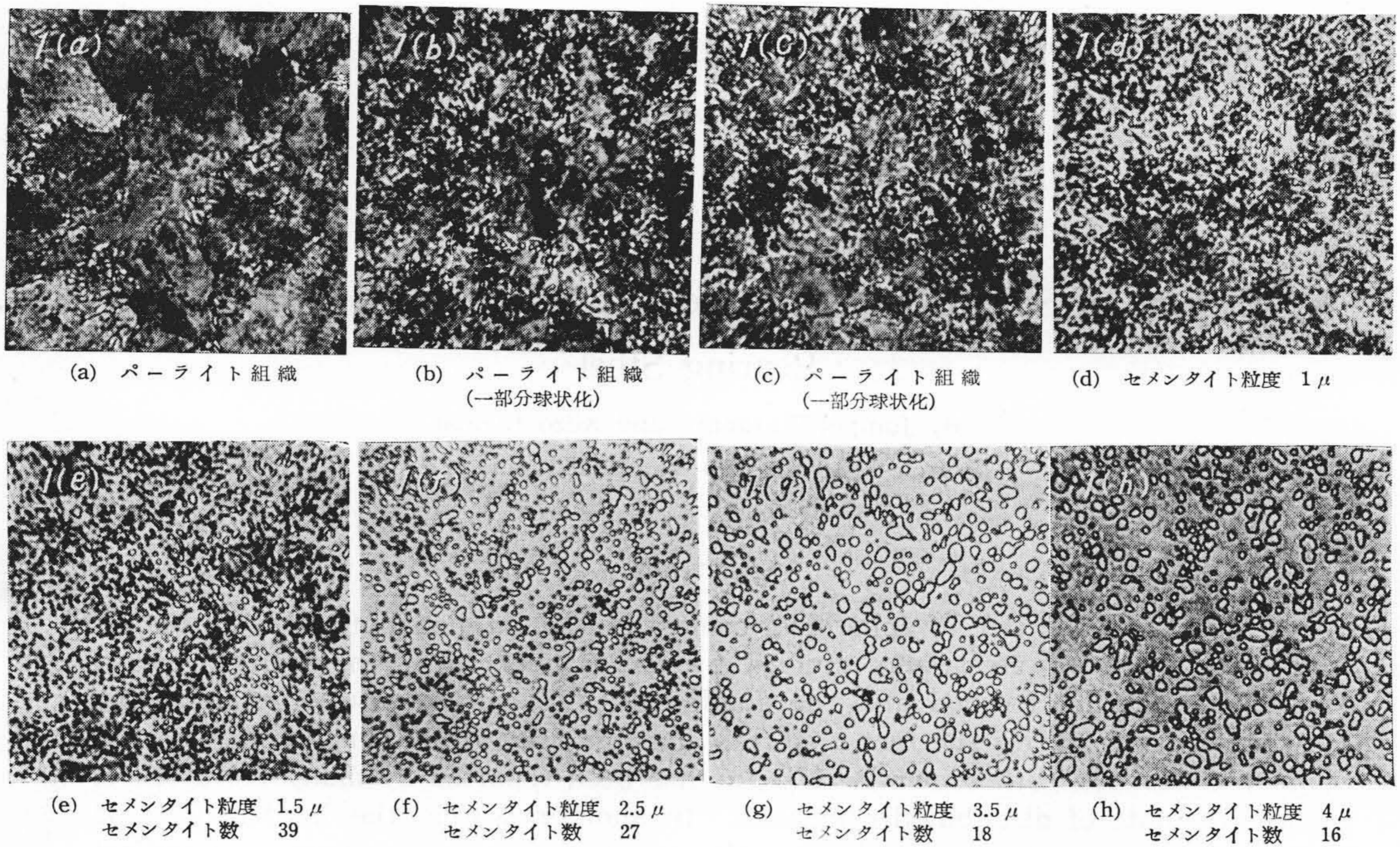
軸受鋼第3種であり、第1表は供試材の化学成分を示す。

#### (2) 実験方法

(A) 第1表A成分の5t鋼塊を鍛伸して50×50×130mmの角材とした試料を焼鈍して結晶粒度の調整を行った後、球状化処理を行いセメンタイト粒の大きさを1~4μの範囲で5種類に変化させ、このほかパーライト組織ソルバイト組織、および両者の混合組織を呈する試料を3種類計8種類作り変態点測定試料を採取した。

変態点の生起状況は加熱温度を820°Cとして保持時間を5分および15分に変化させた場合について本多、佐藤式熱膨脹計および佐藤式自記焼入装置を使用し、冷却方法を炉冷(200°C/h)、空冷および油冷(油温15°C)として $Ar_1$ 、 $Ar'$ および $Ar''$ 変態点を求めた。

(B) 第1表のB成分の5t鋼塊を鍛伸して50×50×



第1図 A 試料の焼鈍組織 ×600  
 Fig.1. Annealed Structures of A Specimen ×600

130 mm の角材とし(A)と同様の処理を行い、セメンタイト粒の大きさを1~4 $\mu$ の範囲で4種類に変化させ変態点測定試料およびジョミニー焼入試験試料を採取した。

変態点の生起状況は佐藤式自記焼入装置を使用し、加熱温度を800, 820 および 850 °C, 保持時間はそれぞれ15分とした場合について空冷および油冷時(油温40°C)のAr' および Ar'' 変態点を求めた。ジョミニー焼入試験は上述の3種の加熱温度に30分保持した場合について行った。さらにピクリン酸アルコールおよびピクリン酸ソーダによつて腐蝕検鏡し変態組織を検討した。

[III] 実験結果

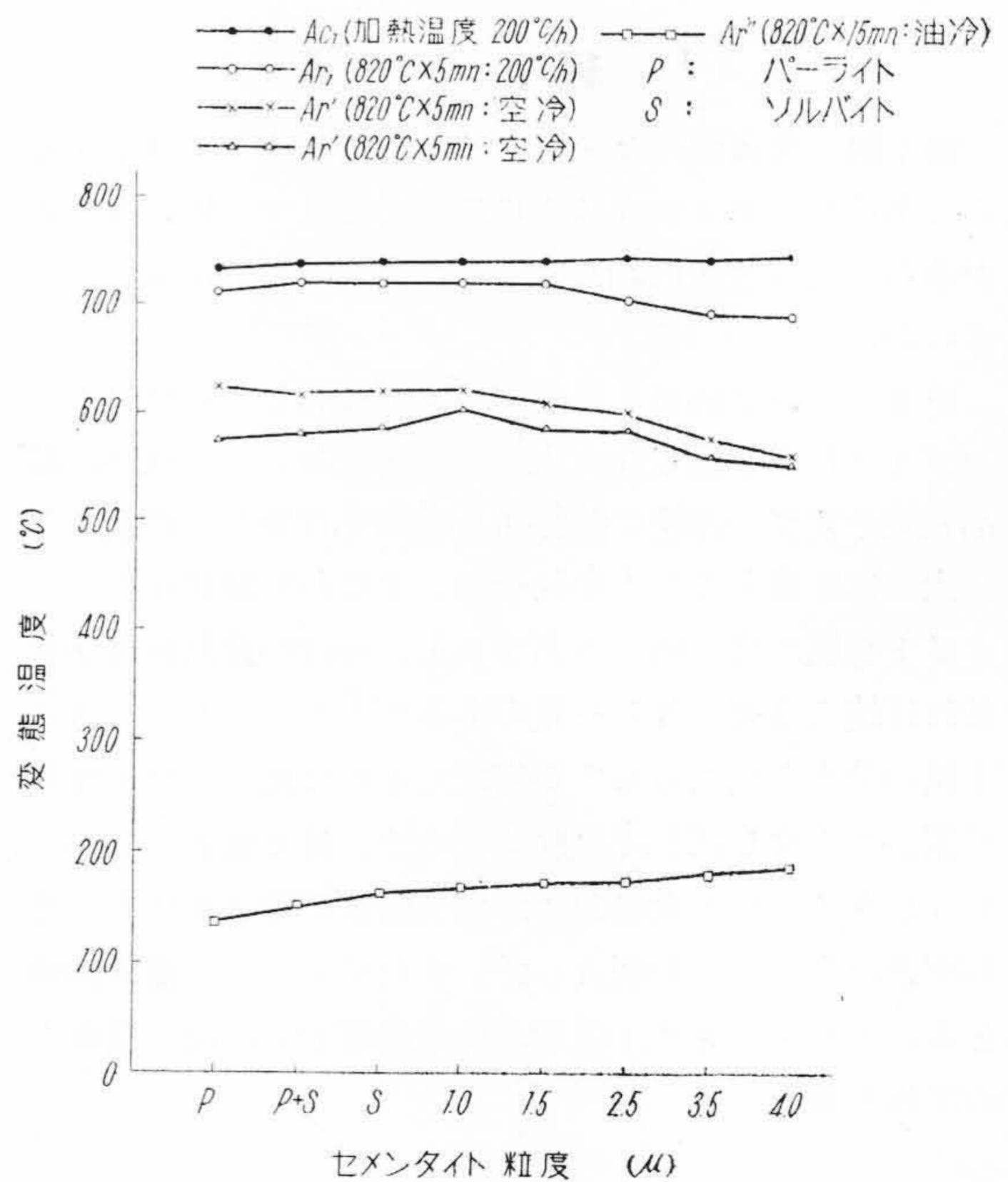
(1) A 試料についての実験結果

(A) 焼鈍組織

第1図(a)~(h)は焼鈍組織を示したものである。セメンタイト粒度の判定は近藤氏の標準図<sup>(5)</sup>を使用し、粒分布の測定は10<sup>-4</sup> mm<sup>2</sup> 当りの粒数を顕微鏡組織写真から求めた。1 $\mu$  以下の粒度のものは粒数の測定が困難であるので、粒数を読み取らなかつた。第1図からセメンタイト粒度が大きくなるにつれて粒の分布は粗となることがわかつた。

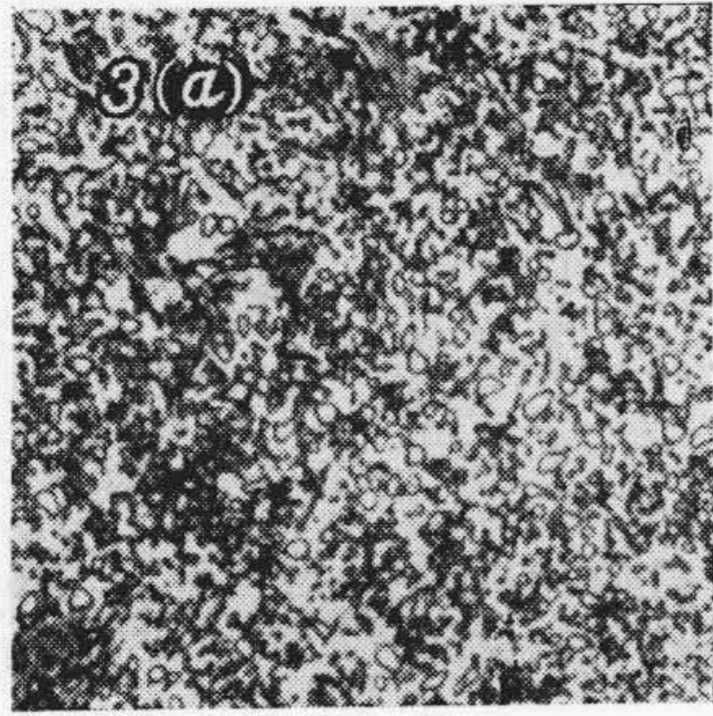
(B) 変態点測定

第2図は変態点測定結果を示すが、この場合変態点は開始温度をもつて示した。これらの結果によると加熱変

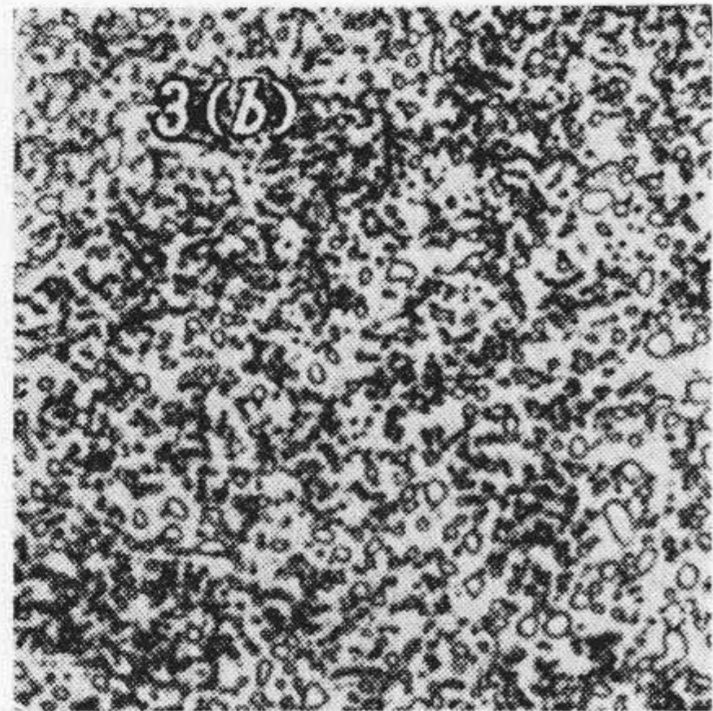


第2図 変態点におよぼすセメンタイト粒度の影響

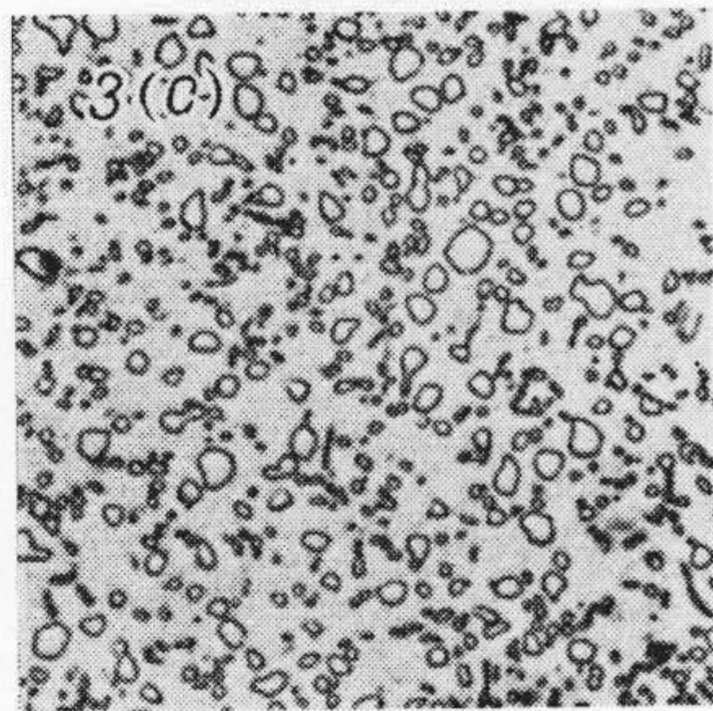
Fig.2. The Effect of Cementite Size on the Transformation Temperature



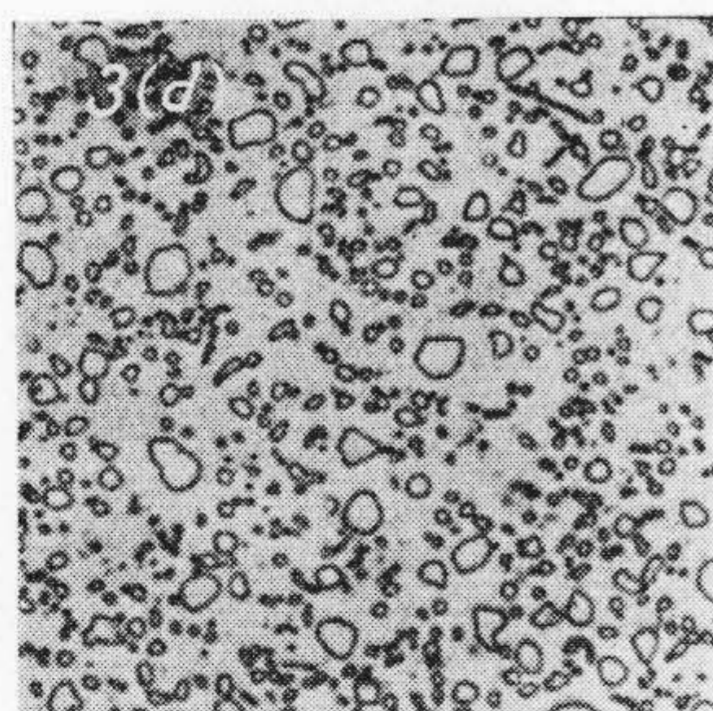
(a) セメンタイト粒度 1 μ



(b) セメンタイト球状 1.5 μ



(c) セメンタイト粒度 3 μ  
セメンタイト数 19



(d) セメンタイト粒度 4 μ  
セメンタイト数 17

第3図

B 試料の球状化組織

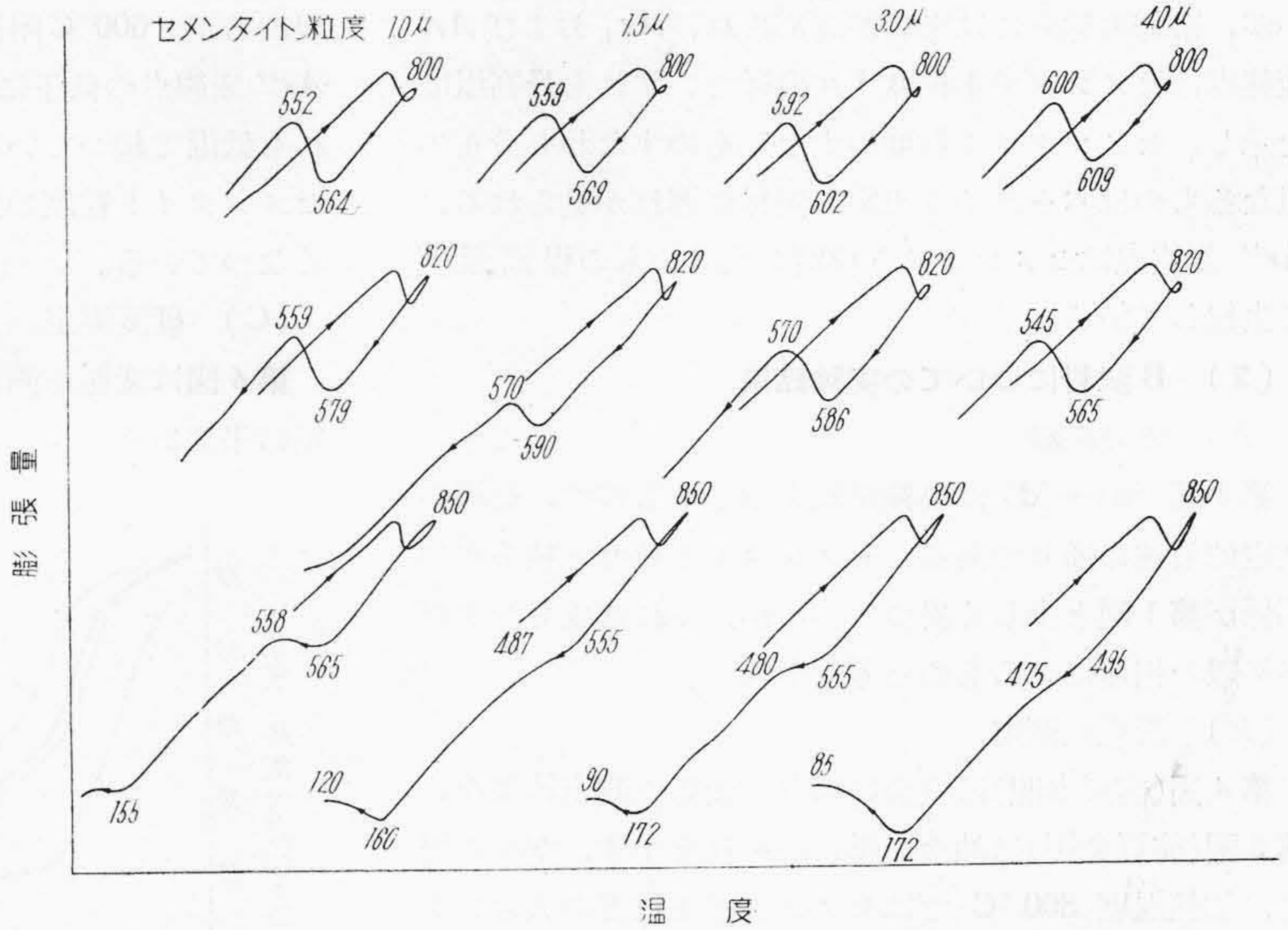
×600

Fig. 3.

Globulized Structures

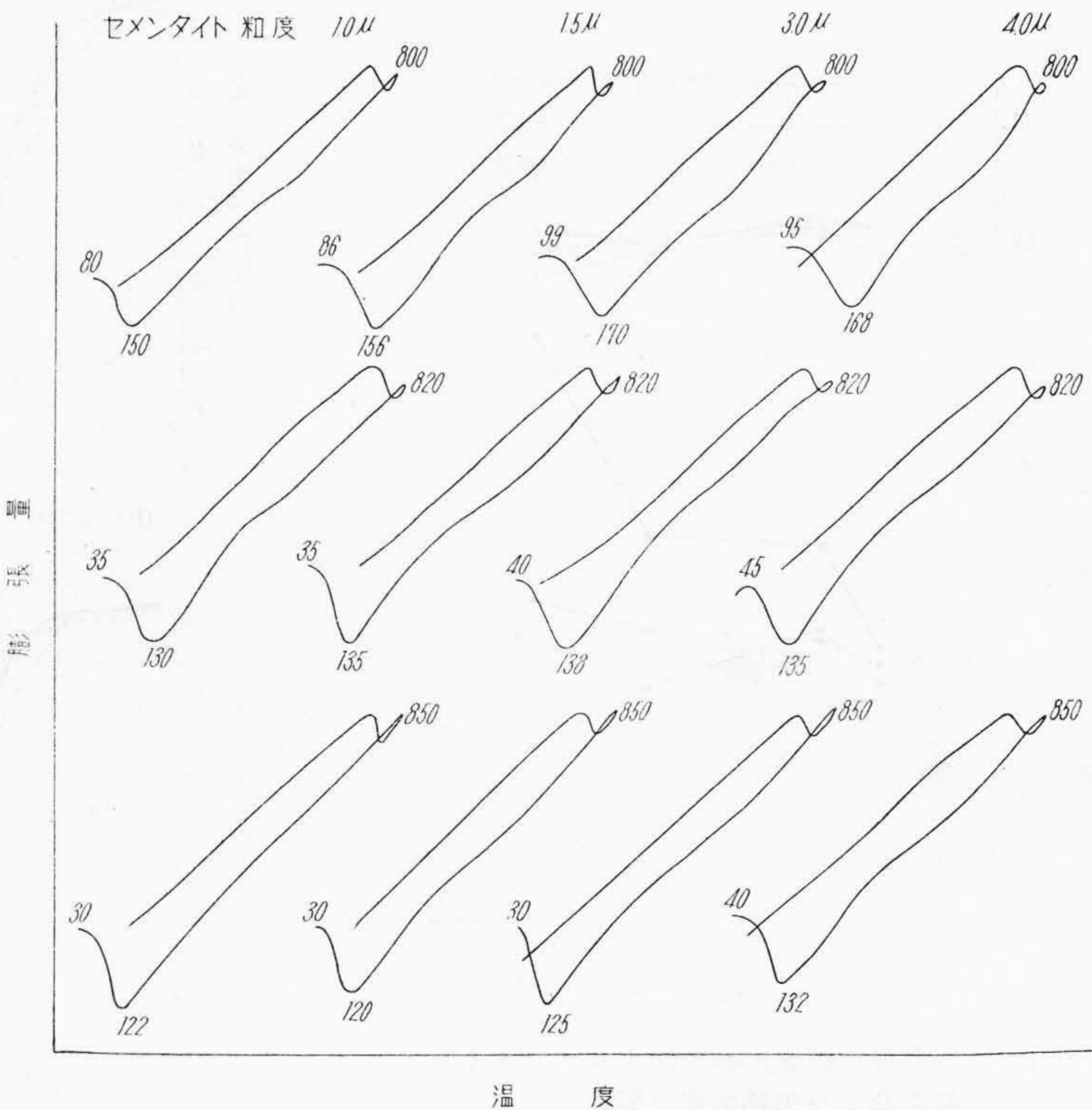
of B Specimen

×600



第4図 変態点におよぼすセメンタイト粒度および加熱温度の影響 (空冷)

Fig. 4. The Effect of Cementite Size and Heating Temperature on the Transformation Temperature (Air Cool)



第5図 変態点におよぼすセメント粒度および加熱温度の影響 (油冷)

Fig. 5. The Effect of Cementite Size and Heating Temperature on the Transformation Temperature (Oil Quench)

態点にはセメンタイト粒度の影響はほとんど認められないが、冷却変態点には影響が認められ、 $Ar_1$  および  $Ar'$  変態点はセメンタイト粒度  $1\mu$  附近でいずれも最高温度を示し、セメンタイト粒度の大なるものすなわち分布の粗なるものはパーライト組織と同様に遅れが見られる。 $Ar''$  変態点はセメンタイト粒度の大きいもの程高温度で生起している。

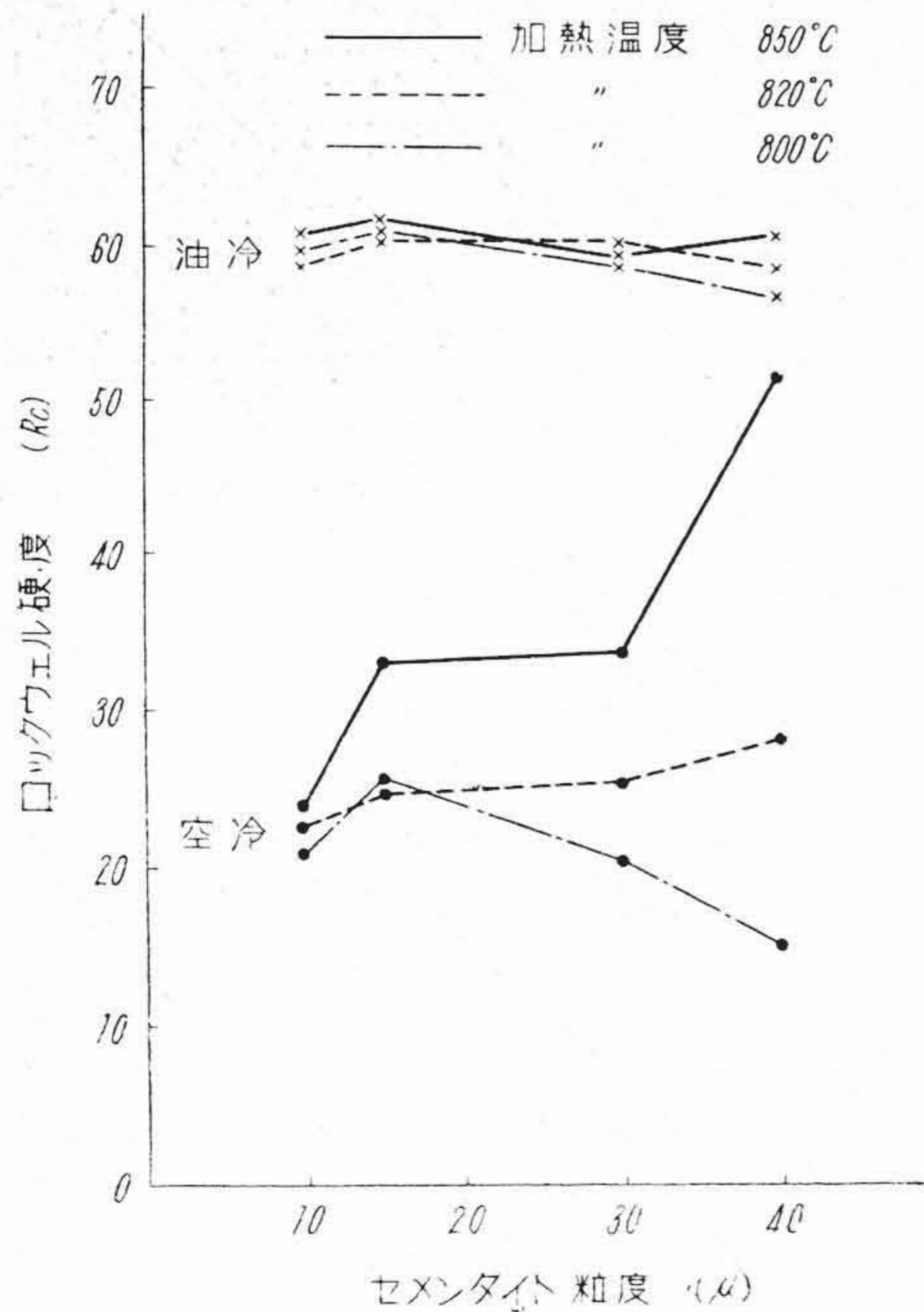
(2) B 試料についての実験結果

(A) 焼鈍組織

第3図 (a)~(d) は焼鈍組織を示したもので、組織の判定は前述の通りである。セメンタイト粒度と粒分布の関係が第1図と少しく異っているが、これは成分および熱処理の相違によるものと考えられる。

(B) 変態点測定

第4図(前頁参照)は空冷の場合の変態点測定結果を、第5図(前頁参照)は油冷の場合のそれを示す。空冷の場合には加熱温度  $800^\circ\text{C}$  ではセメンタイト粒度の大きいもの程冷却変態は高温で現れているが、加熱温度が  $820$  および  $850^\circ\text{C}$  に上昇するにつれてセメンタイト粒度の小さいものが高温で変態が起るようになり、 $820^\circ\text{C}$  では粒度  $1.5\mu$  において最高温度を示し、 $850^\circ\text{C}$  では  $800^\circ\text{C}$  の場合と全く逆の傾向を示している。



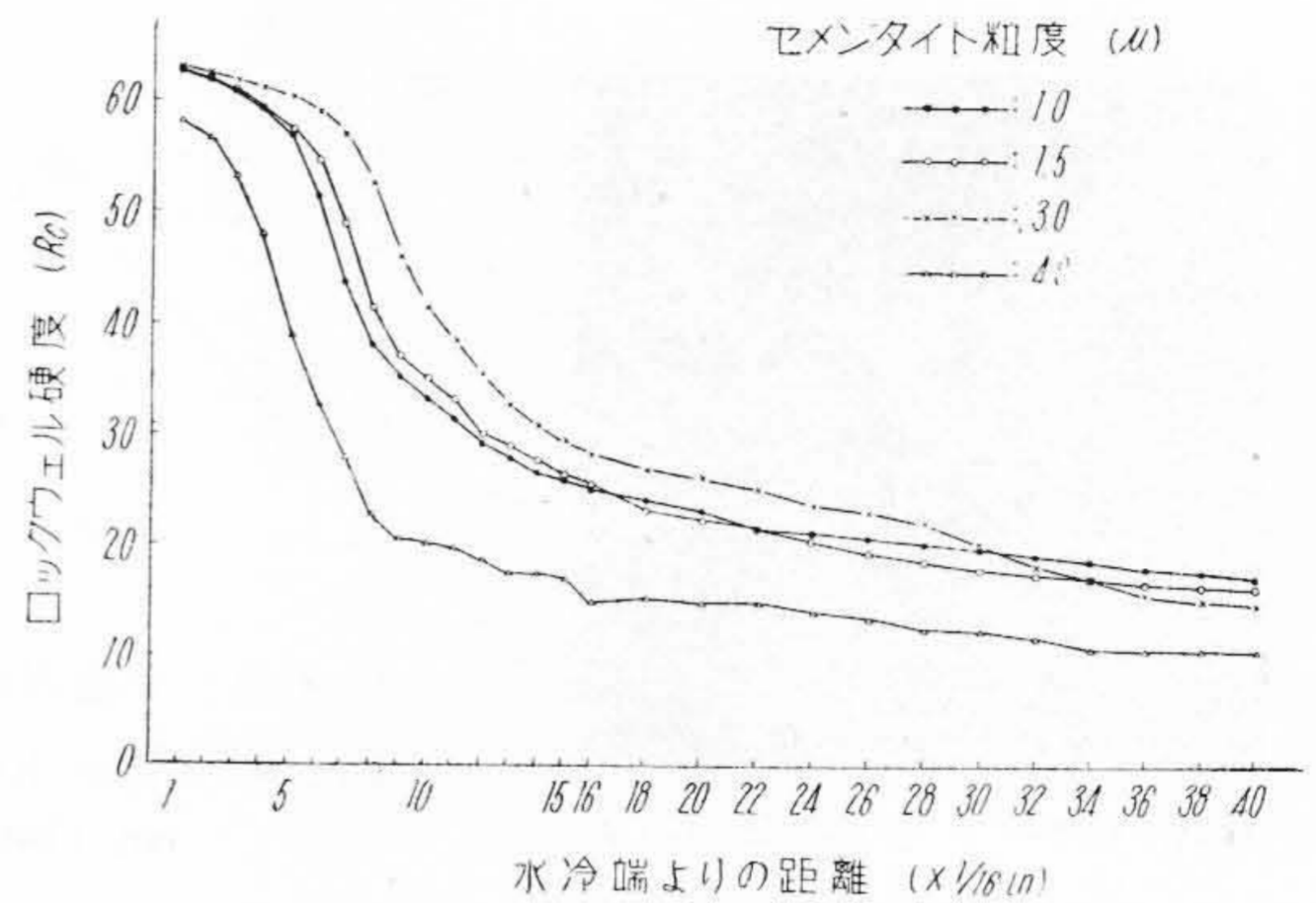
第6図 変態後の硬度におよぼすセメンタイト粒度および加熱温度の影響

Fig. 6. The Effect of Cementite Size and Heating Temperature on the Hardness after Transformation

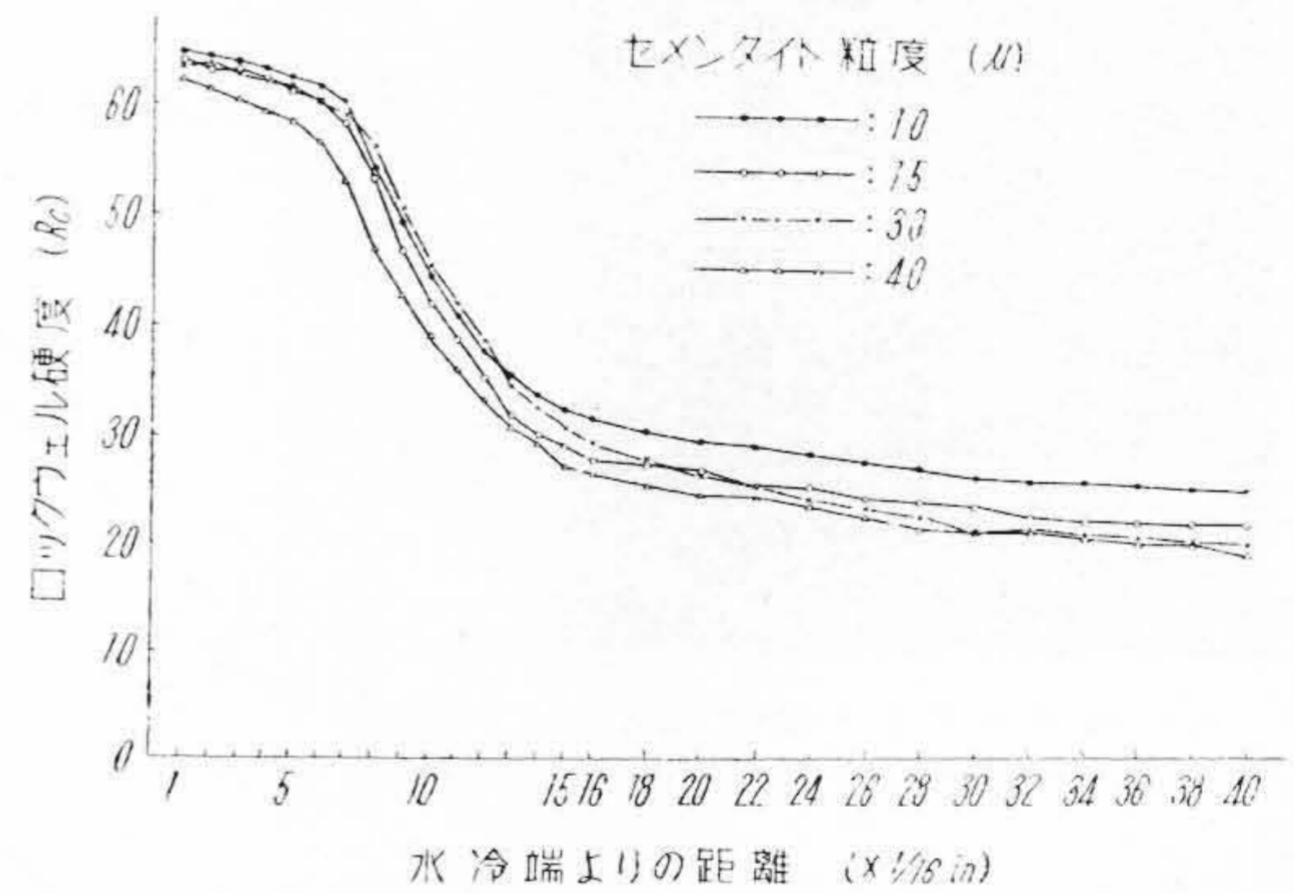
油冷の場合は  $Ar''$  変態点は加熱温度が高い程低温で現れるが、 $600^\circ\text{C}$  附近にわずかに認められる膨脹変化が  $Ar''$  変態点の低下に関係し、A 試料の場合に比べていずれも低温で起っているまたいずれの加熱温度においてもセメンタイト粒度の大なる程  $Ar''$  変態点は少しづつ高くなっている。

(C) 硬度測定

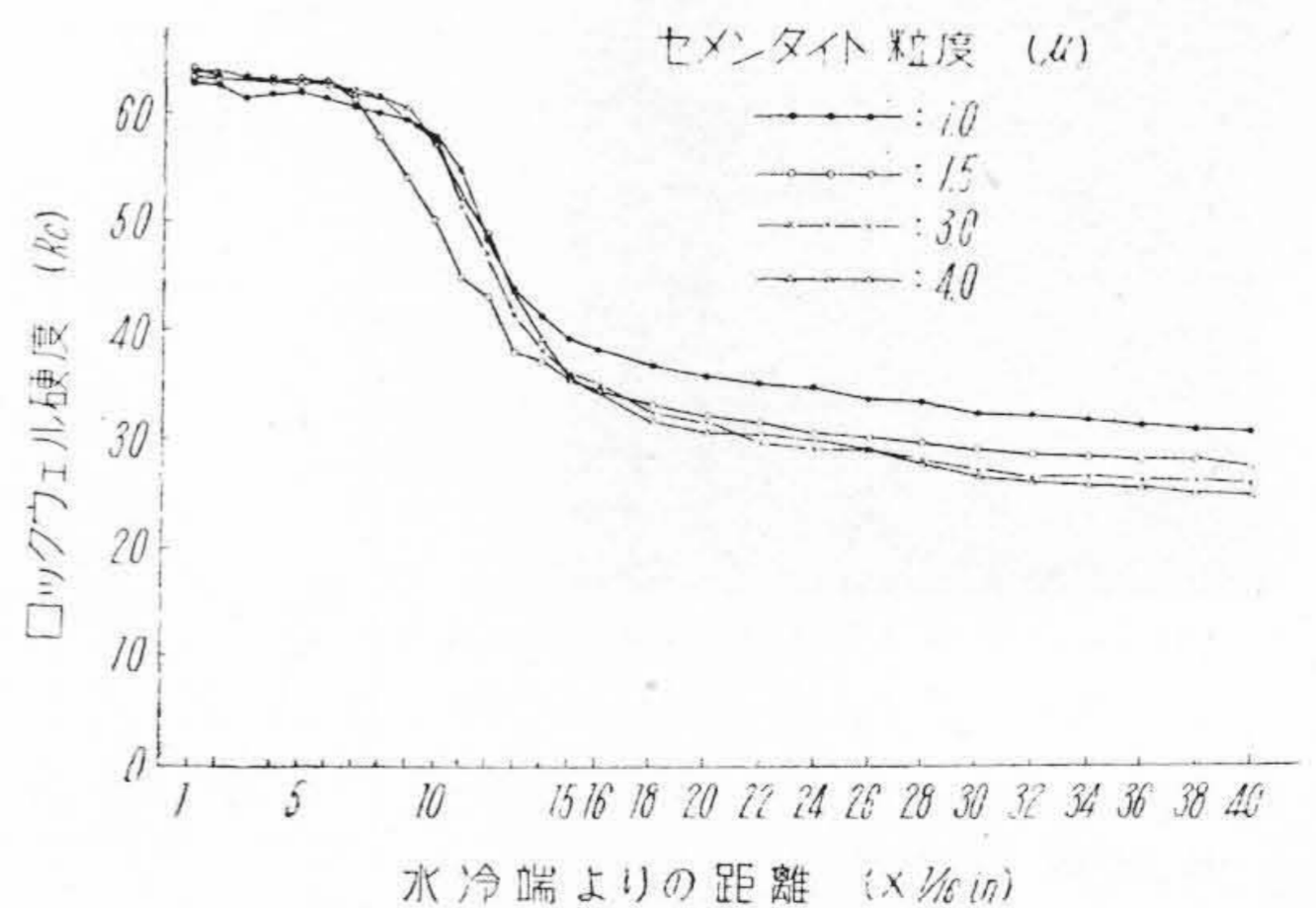
第6図は変態点測定後の試料のロックウェル硬度の測定結果である。



(a) ジョミニー曲線 ( $800^\circ\text{C} \times 30 \text{ min}$ )

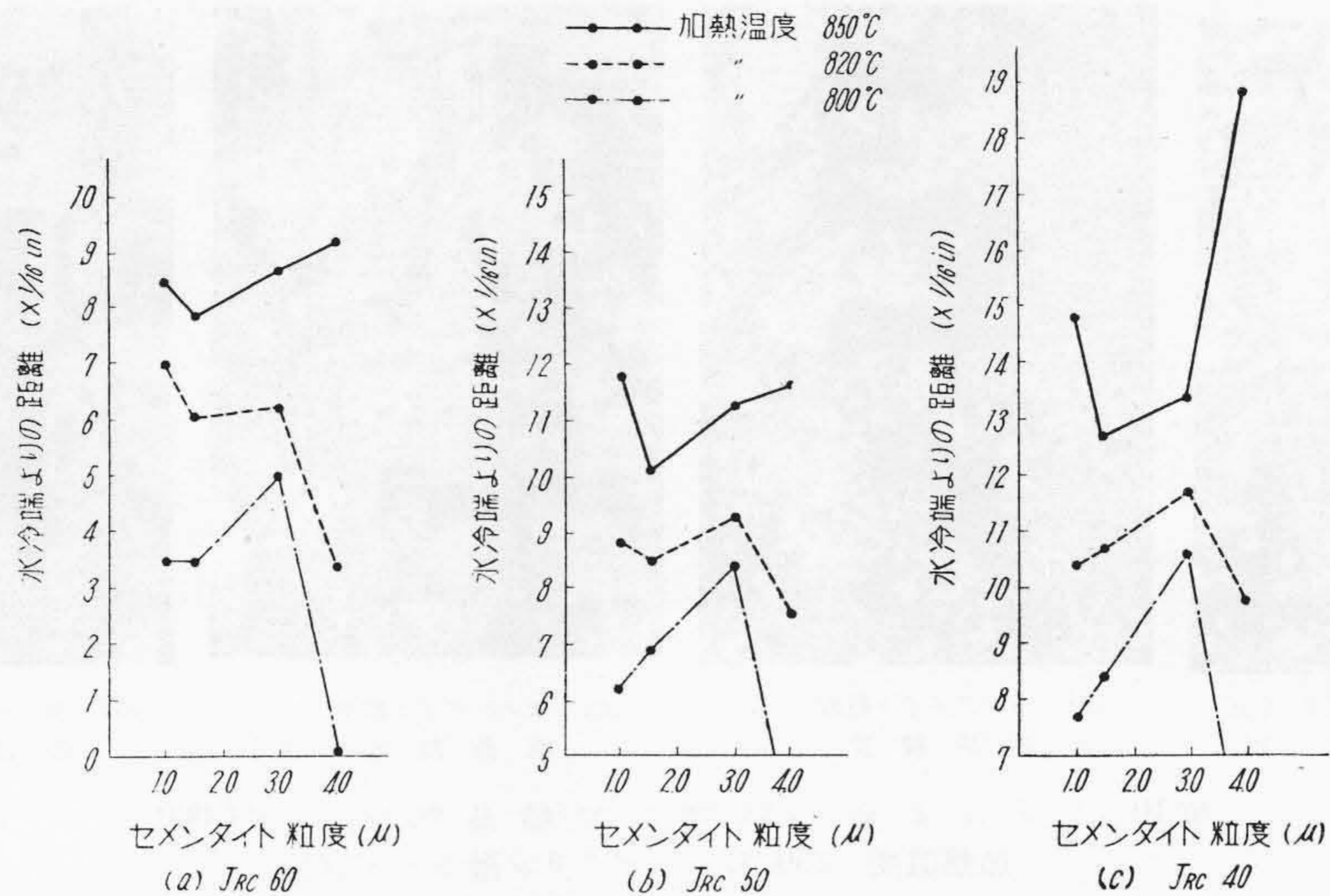


(b) ジョミニー曲線 ( $820^\circ\text{C} \times 30 \text{ min}$ )



(c) ジョミニー曲線 ( $850^\circ\text{C} \times 30 \text{ min}$ )

第7図 ジョミニー曲線  
Fig. 7. Jominy Curves



第8図  $J_{Rc}$  におよぼすセメンタイト粒度および加熱温度の影響  
 Fig. 8. The Effect of Cementite Size and Heating Temperature on the  $J_{Rc}$ .

空冷の場合は加熱温度およびセメンタイト粒度によつて硬度が異なり、加熱温度が  $800^{\circ}\text{C}$  では粒度  $1.5\mu$  で最も硬度が高く、 $820$  および  $850^{\circ}\text{C}$  ではいずれも粒度  $4\mu$  のものが最高で変態点測定結果とよく関連している。油冷の場合は硬度の差はあまり認められないが  $1.5\mu$  のものが少しく高くなっている。

(D) ジョミニー試験

第7図 (a)~(c) は加熱温度およびセメンタイト粒度を変化した場合のジョミニー焼入曲線を示す。

(a) 加熱温度  $800^{\circ}\text{C}$  の場合

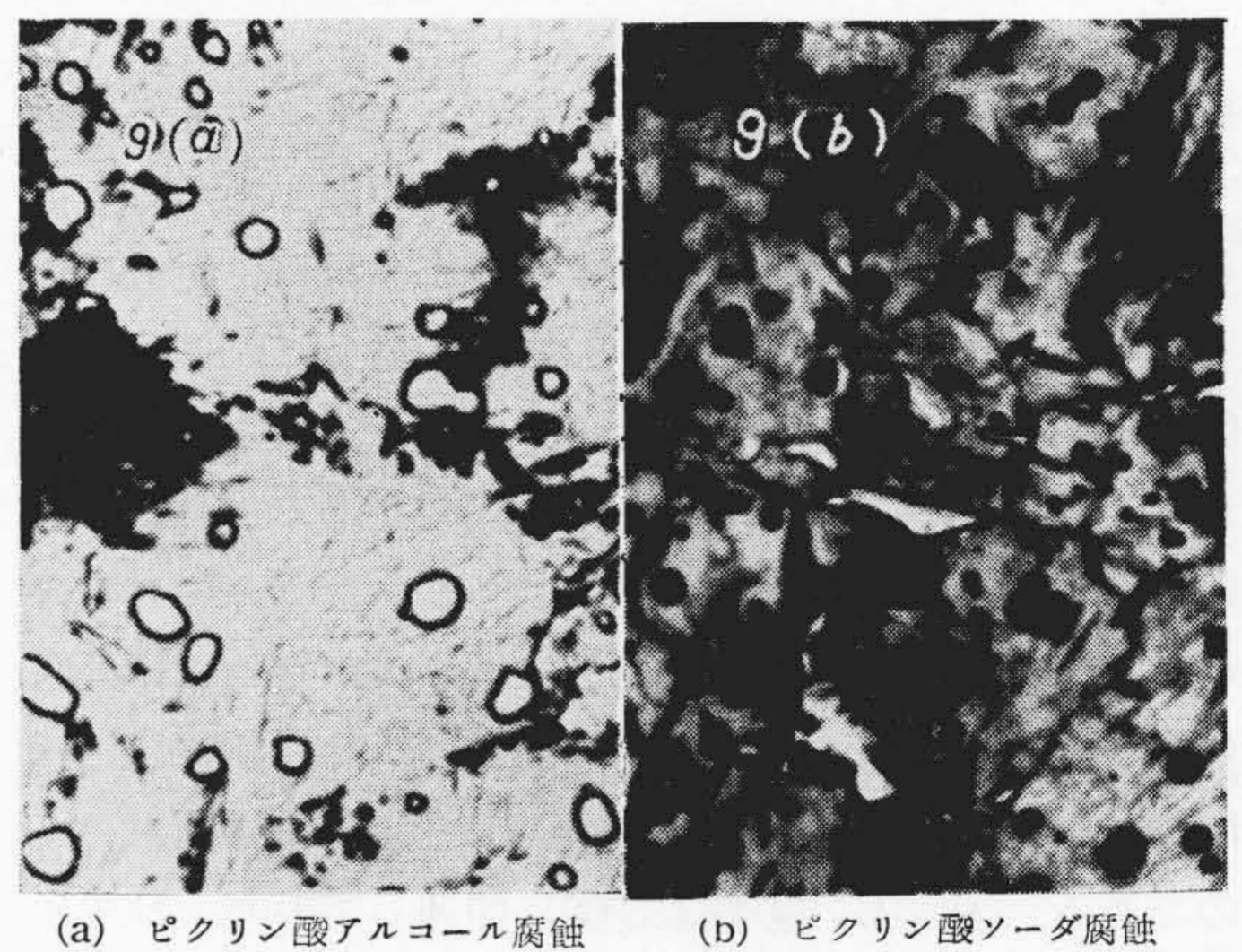
セメンタイト粒度  $3\mu$  の試料は水冷端より  $2\text{in.}$  までは最も硬度が高く、 $J_{Rc} 60$  は  $5/16\text{in.}$  である。粒度  $1.5\mu$  がこれにつき  $1\mu, 4\mu$  の順序で硬度は低くなっている。水冷端よりの距離が大きき冷却速度の遅い位置では、球状化焼鈍組織そのものゝ硬度が影響してセメンタイト粒度の大きいもの程低くなる。この傾向は加熱温度  $820$  および  $850^{\circ}\text{C}$  の場合にも同様に認められる。

(b) 加熱温度  $820^{\circ}\text{C}$  の場合

$J_{Rc} 60$  の距離は大体セメンタイト粒度の大きいもの程小で粒度の順序に  $7/16, 6.1/16, 6.2/16$  および  $3.4/16\text{in.}$  となっており、粒度  $4\mu$  のものは急激に小となっている。 $J_{Rc} 50$  および  $J_{Rc} 40$  の距離は  $1.5$  および  $4\mu$  の試料が小で粒度  $1.5\mu$  のものは異常変化が認められる。

(c) 加熱温度  $850^{\circ}\text{C}$  の場合

粒度  $4\mu$  のものは  $J_{Rc} 60$  は  $9.2/16\text{in.}$  で最も大きく、粒度  $1, 3\mu$  がこれにつき  $1.5\mu$  で最も小となり、 $8.5/16, 8.7/16$  および  $7.4/16\text{in.}$  となっている。 $J_{Rc} 50$  まではこの順序がそれ以上では粒度  $1, 1.5, 3$  および  $4\mu$  の順序に硬度が低くなっている。

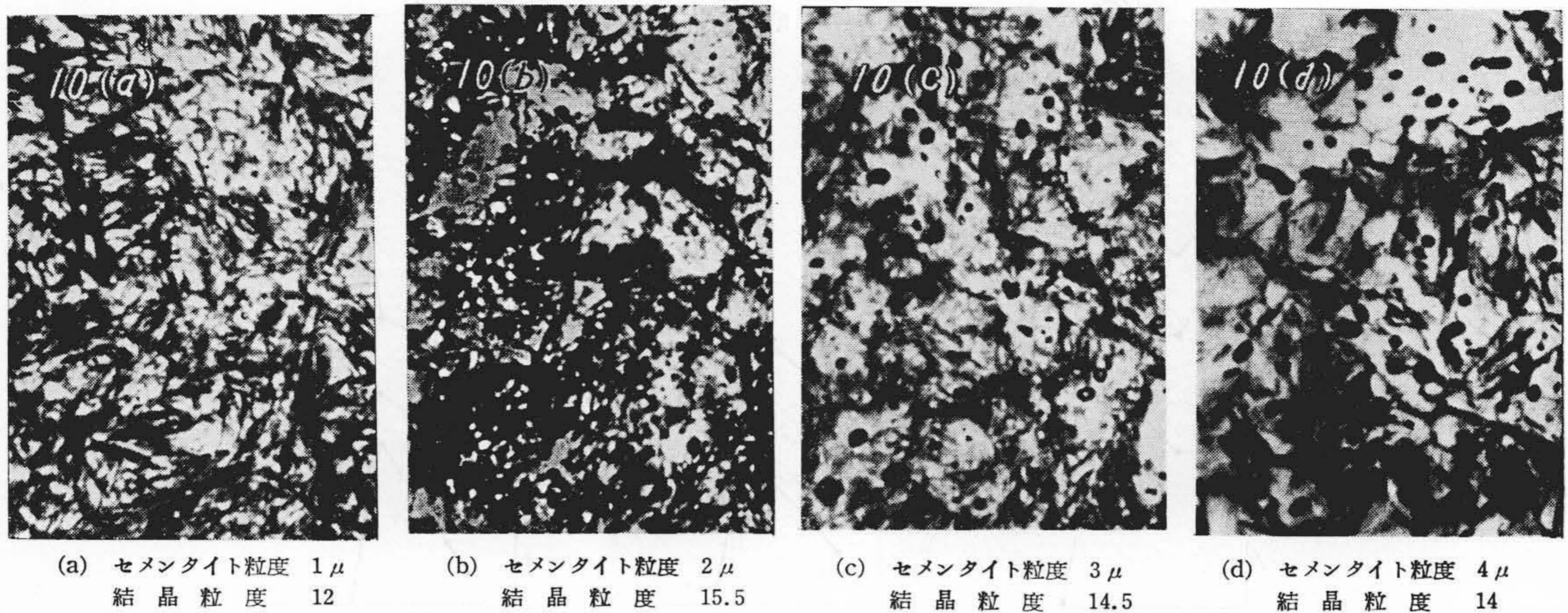


第9図 ジョミニー試験片の顕微鏡組織  $\times 2,000$   
 加熱温度  $850^{\circ}\text{C}$   
 セメンタイト粒度  $4\mu$

Fig. 9. Microstructure of Jominy Test Piece  
 Heating Temperature  $850^{\circ}\text{C}$   
 Cementite Size  $4\mu$

第8図 (a)~(c) は以上の結果を取まとめたもので加熱温度が高い程硬度は高くなっているが、セメンタイト粒度により増加の程度は異なっている。すなわち加熱温度  $800^{\circ}\text{C}$  では  $J_{Rc} 40$  まで粒度  $3\mu$  のものが硬度が最も高く、 $820^{\circ}\text{C}$  では  $J_{Rc} 60$  までは粒度  $1\mu$ 、さらに  $J_{Rc} 40$  までは粒度  $3\mu$  のものが硬度が最も高く、 $850^{\circ}\text{C}$  では  $J_{Rc} 40$  まで粒度  $4\mu$  のものが最も高い。したがって加熱温度とセメンタイト粒度が相互に焼入性に関与し、セメンタイト粒度の大きいものでも加熱温度を高くすれば最も硬度の高い温度が存在することがわかる。

第9図(a)~(b)は粒度  $4\mu$ 、加熱温度  $850^{\circ}\text{C}$  のジョミニー試験片で  $J_{Rc} 59$  附近の顕微鏡組織である。(a)は



第10図 ジョミニ試験片の結晶粒度  $\times 1,000$   
加熱温度  $850^{\circ}\text{C}$  ピクリン酸ソーダ腐蝕

Fig. 10. Grain Size of Jominy Test Piece  $\times 1,000$   
Heating Temperature  $850^{\circ}\text{C}$   
Etched with Sodium Picrate

ピクリン酸アルコール，(b) はピクリン酸ソーダ煮沸液で腐蝕した。両者の腐蝕結果は全く逆の様相を示している。(a) におけるトルースタイト析出状況は，①微細カーバイドの周辺より析出し，これを包蔵している場合，②セメンタイトの粒界より析出している場合，③セメンタイト粒に無関係に析出している場合がある。(b) におけるトルースタイトの析出状況は①および②の場合のほかに④ピクリン酸ソーダ煮沸液により検出された結晶粒界より析出している場合，⑤劈開面に沿って細片状に析出している場合が認められるが，③と④は全く同一のものである。⑤は①，②および③に関連しており，粒界より析出したトルースタイトは劈開面に沿い細片状に走って，セメンタイトの粒界より析出したトルースタイトに接続している。上記のうちで最も多く認められるものは④，①および②の順序で結晶粒界および微細カーバイド析出がセメンタイト粒界よりの析出に先行している。

#### [IV] 考 察

一般に軸受鋼の焼入性におよぼす因子としては化学成分のほかにセメンタイト粒度，粒分布の粗密，焼入時の結晶粒度および微細核としてのカーバイドと非金属介在物が挙げられている。

セメンタイト粒度の大きいものは分布は粗であり，反対に小なるものは密である。セメンタイトの固溶を十分に伴わないような加熱温度から焼入れするときの結晶粒についていえば，粗なるものは密なるものより大きいと考えられる。第10図(a)～(d)は加熱温度  $850^{\circ}\text{C}$  の場合のジョミニ試験片をピクリン酸ソーダ煮沸液にて腐蝕

し，結晶粒を現出せしめてセメンタイト粒度と結晶粒度との関係を比較したものである。結晶粒度は学振法により換算したものである。セメンタイト粒度が小さく十分固溶する場合は(a)のように結晶粒界の検出は困難であるが，ある程度の固溶であれば検出は可能である。しかし加熱温度が低くセメンタイト粒が十分に残存している場合とかマルテンサイト中にトルースタイトが多量に析出している場合には結晶粒界の検出は不可能である。(a) はセメンタイト粒の固溶が十分に行われて結晶粒の成長が認められるが，(b)，(c) および (d) はまだ十分に固溶せず結晶粒の検出が容易である。

第10図からわかるようにセメンタイト粒が十分に固溶されない場合には粒度が小さく，分布の密なるものの方が，粒度が大きく，分布の粗なるものよりも結晶粒は小さい。したがってセメンタイト粒度が大きくても結晶粒が大となるために焼入性を増加する効果を与える。このことはセメンタイト粒度が大きければオーステナイト中のCおよびCrが稀薄となり，焼入性を減退せしめる効果と相殺することが考えられる。

セメンタイト粒は球状であるために，オーステナイト中への固溶度はその曲率半径に反比例し，大きいものは固溶し難く，小さくてもパーライトおよびソルバイトと比較すると固溶しにくい。固溶を始めてもCrの影響によつて拡散しにくい。したがってセメンタイト粒の小なるものでも加熱温度が固溶と拡散を十分に進行しえないような温度から焼入れするときの結晶粒度は，セメンタイト粒の分布の粗密に関係し，かつカーバイドの微細核を残したまま $Ar_1$ の変態が行われるので，オーステナ

イト中の化学成分がセメンタイト粒の大きいものに比べて濃厚であつても焼入は劣ることも考えられ、軸受鋼の焼入性がセメンタイト粒度とその分布の粗密および加熱度によつて複雑な影響をうけることがわかる。このことは第9図について述べたトルースタイトの析出順序からも証明される。

本実験は加熱温度を変化と保持時間を一定にした場合について行つたのであるが、保持時間の影響についても十分な検討が必要であると考えられる。だが従来考えられてきたように焼入性とセメンタイト粒度の間には一元的な関係しか存在しないという理論は少しく検討の余地があるように思われる。

[V] 結 言

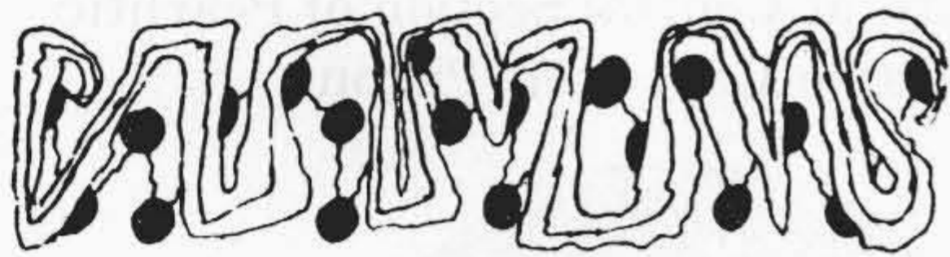
軸受鋼第3種についてセメンタイト粒度を 1~4 $\mu$  の範囲に変化させ、加熱温度を3種類に変えて冷却変態点測定およびジョミニー焼入試験を行つた結果、つぎのようなことがわかつた。

セメンタイト粒度の大小すなわち分布の粗密により焼入性は異なるが加熱温度変化により焼入性はおよぼすセメンタイト粒の影響は著しく変り、加熱温度の低い場合にはセメンタイト粒度が小さく密なるものが焼入性はすぐれているが高い場合には粒度が大きく粗なるものがすぐれ、最大焼入能力を附与するためのセメンタイト粒の臨界大きさが存在する。この理由としては粒分布の粗密に起因する焼入時の結晶粒度の大小およびオーステナイト中の成分濃度の相互作用が挙げられる。

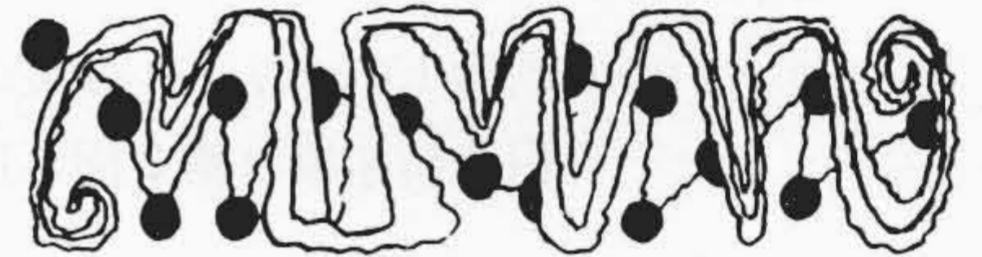
終りに臨み御指導と御鞭撻を賜つた日立製作所日立水戸分工場鍛造課小河課長ならびに武市主任および日立研究所根本主任に対し深厚なる謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) 近藤：日本金属学会誌 11, 11 (昭 23. 12)
- (2) 久道：日本金属学会誌 9, 4 (昭 20. 8)
- (3) 藤沢：日本金属学会誌 18, 441 (昭 29. 7)
- (4) Rapatz u. Franz：Stahl u. Eisen 74, 1195 (1954)
- (5) 近藤：日本金属学会誌 11, 17 (昭 23. 9)



特 許 の 紹 介



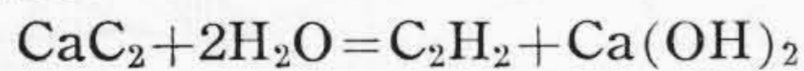
特許第201954号

五賀善夫・牧野武男・重木暢正

光 輝 焼 鈍 方 法

この発明は焼鈍雰囲気中に含まれるCO<sub>2</sub>およびH<sub>2</sub>OをCaC<sub>2</sub>と高温にて反応せしめてこの焼鈍雰囲気を窒素ガスを主成分とするほぼ中性のガスとなしこれをもつて被焼鈍材を焼鈍することを特長とする光輝焼方法である。

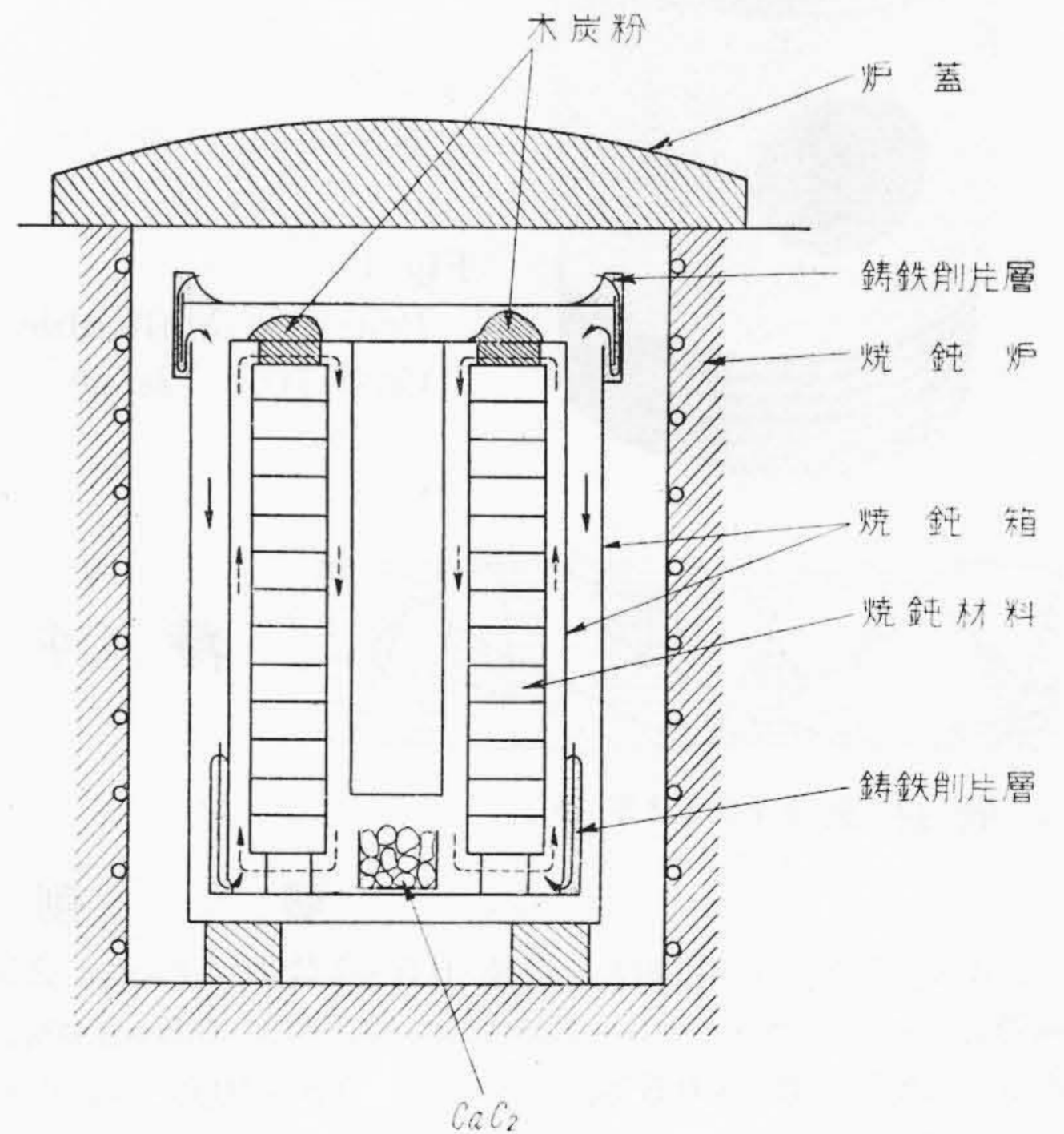
すなわち図において、空気は鑄鉄削片層を通過し、空気中の酸素は鑄鉄削片中の炭素と反応してCO<sub>2</sub>となり焼鈍箱内に滲入してくるが木炭粉に接することによつてさらに完全にCO<sub>2</sub>はCOにまた空気中の酸素はCO<sub>2</sub>となる。このCO<sub>2</sub>および空気中に含まれているH<sub>2</sub>Oは焼鈍箱内の雰囲気を劣化するので、これを防止するために焼鈍箱の底部にCaC<sub>2</sub>を置けばこのCaC<sub>2</sub>はH<sub>2</sub>Oと容易に反応を起し



となる。さらにこの反応により生じたC<sub>2</sub>H<sub>2</sub>はH<sub>2</sub>OおよびCO<sub>2</sub>と高温において反応しCH<sub>4</sub>, CO, H<sub>2</sub>となる。またCaC<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>Oとの反応により生じたCa(OH)<sub>2</sub>はCO<sub>2</sub>と吸着反応する性質を有する。

上記のような反応が高温の焼鈍箱内に起ることによりこの焼鈍箱内の雰囲気は大体窒素ガスを主成分としたほぼ中性のガスとなるのである。図中、実線および点線にて示した矢印はそれぞれ滲入空気流の方向および焼鈍箱内の焼鈍雰囲気の循環方向を示す。このようにして窒素ガスを主成分とするほぼ中性の雰囲気が焼鈍材料を常に包み循環することにより脱炭を防止して光輝焼鈍をすることができるのである。

(高野)



**高力マレブル製ピストン**  
Pearlitic Malleable Cast Iron Piston

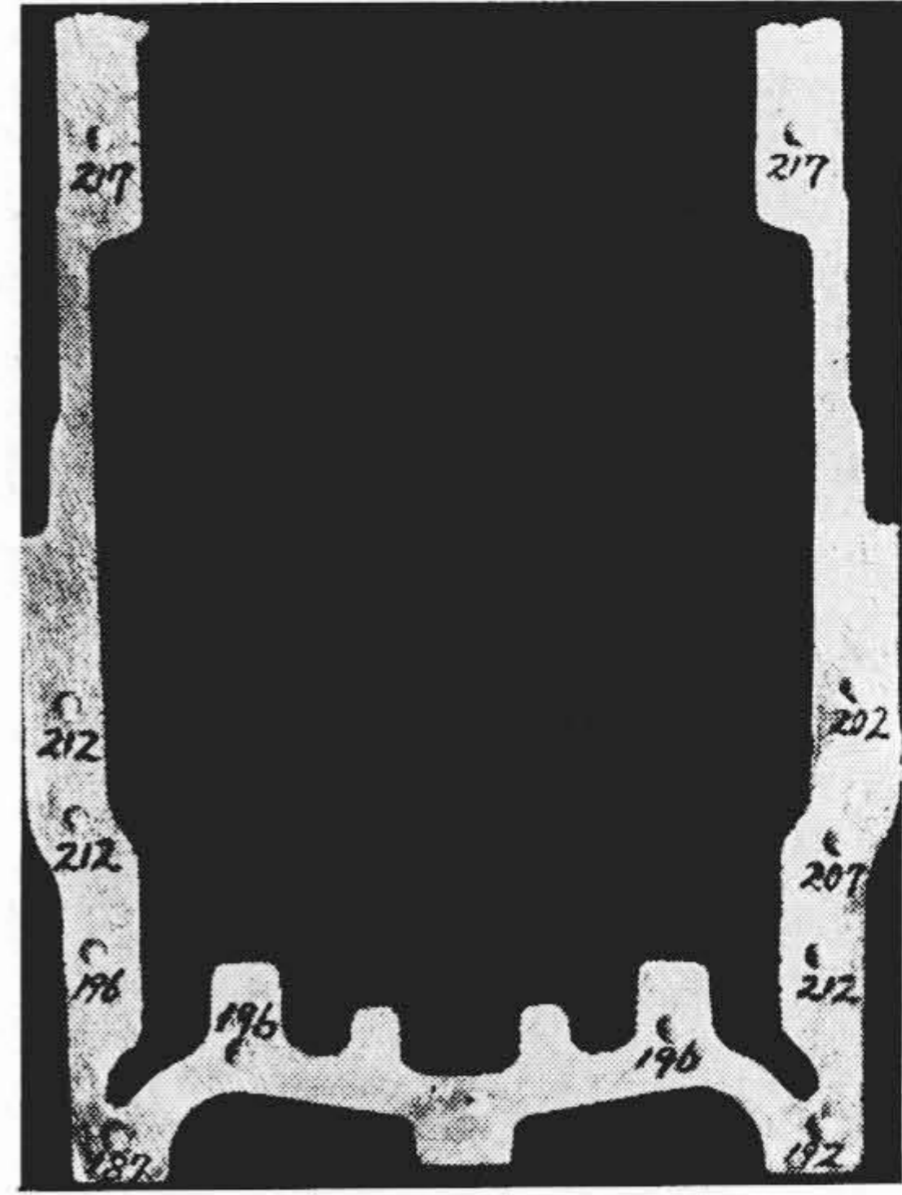
内燃機関用ピストンに要求される重要な性質の一つに耐磨耗性があるが、これと機械的ならびに熱的性質を同時に改善する目的で、日立製作所で高力マレブル製ピストンを製作した。

このピストンはつぎのような材質的特長を有し、従来品の欠陥を克服して良好な成績をあげている。

- (1) 抗張力 50 kg/mm<sup>2</sup> 以上，延伸率 4% 以上，疲労限 20 kg/mm<sup>2</sup>，ブリネル硬度 192~223 で，鑄鉄に比しはるかにすぐれた機械的性質を有し，かつ耐磨耗性が大きい。
- (2) 局部焼入を行つてリング地帯の表面硬度をあげ (Hs60~70)，耐磨耗性をさらにあげることができる。
- (3) 繰返加熱に対する成長ははなはだ少く普通鑄鉄の約 1/12 である。

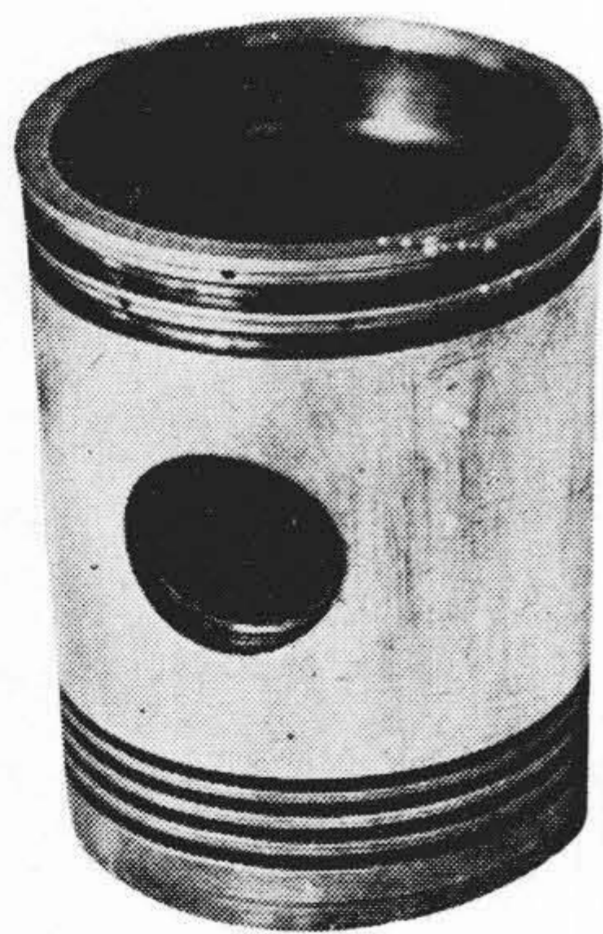
ピストンの中心断面上のブリネル硬度の分布を第2図に示す。またその顕微鏡組織は第3図の通りで、球状パ

ーライト地に粒状のテンパーカーボンが点在した均一な組織である。



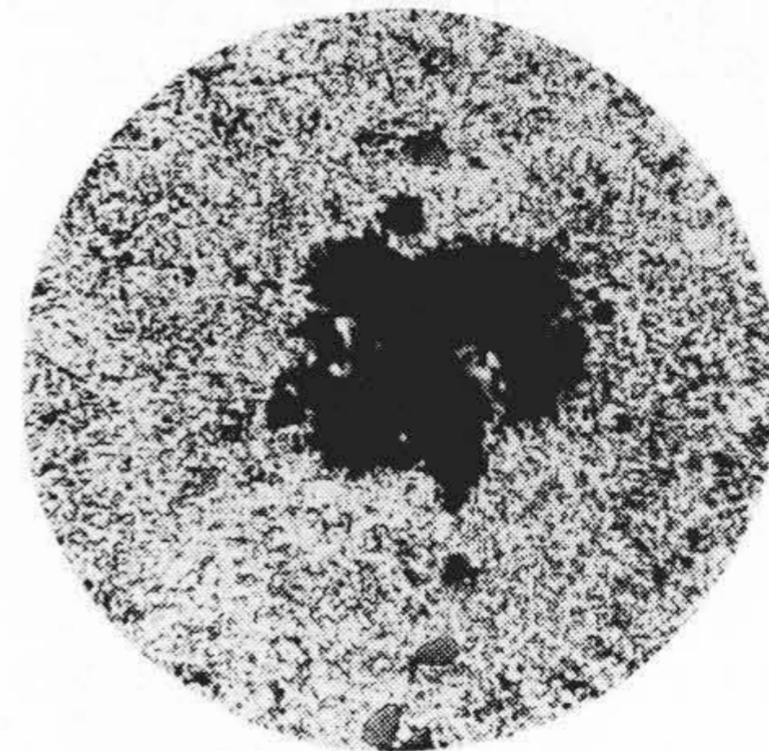
第2図 高力マレブル製ピストンの中心断面上のブリネル硬度分布

Fig. 2. B.H.N. at Central Section of Pearlitic Malleable Cast Iron Piston



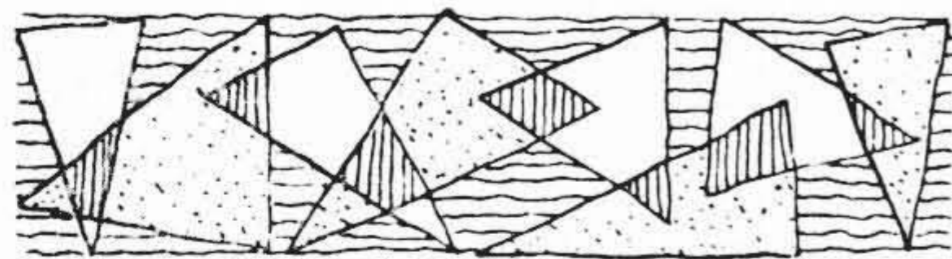
第1図  
高力マレブル製ピストン

Fig. 1.  
Pearlitic Malleable Cast Iron Piston



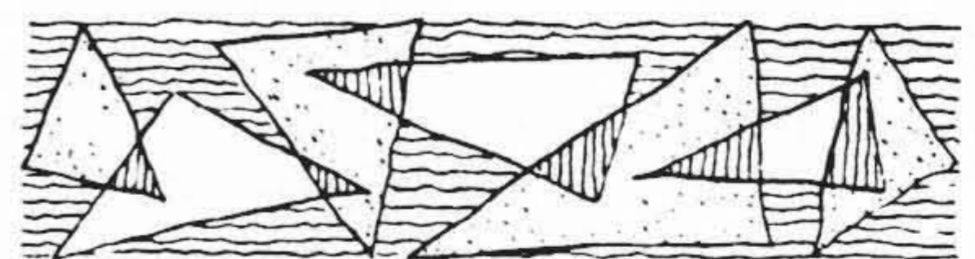
第3図 高力マレブルの顕微鏡組織  
×300

Fig. 3. Microstructure of Pearlitic Malleable Cast Iron  
×300



特許第173525号

特許の紹介



菊田多利男・小柴定雄

切 削 用 鋼

この発明の切削用鋼は、炭素 0.5~1.3%、クロム 2.5~5%、タングステン 5~12%、バナジウム 0.3~3.0%、ジルコニウム 0.1~0.5%、コバルト 0.5~10%、残部鉄を主成分とするもので、用途により副成分として硼素、チタニウム、マンガン、硅素、アルミニウムを各1%以下含有せしめるものである。

高速度鋼の耐久力はある程度以上の硬度においては硬度大なるものかならずしも耐久力大なりとは限らない。

むしろ刃先の粘靱性と炭化物の組成、分布および結晶粒の大きさなどに著しく影響される。この切削用鋼はタングステンが5ないし12%の低タングステンで、しかもモリブデンを含まず、これに極く少量のジルコニウムを添加し溶湯を清浄にし、かつ結晶粒を微細化し、また複炭化物の中にも少量含有せしめ、適当なる硬度と大なる粘靱性を附与し、もつて切味および耐久力を著しく改善向上せしめたものである。 (高野)