

# 鑿岩機用ピストン鋼の焼入性について

小柴定雄\* 田中和夫\*\* 稲田朝雄\*\*\*

## The Hardenability of Piston Steel for Rock Drill

By Sadao Koshiba, D.S.E., Kazuo Tanaka and Asao Inada  
Yasugi Metallurgical Laboratory, Yasugi works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

The writers disclose in this article the results of their study on PT steel (piston steel for rock drill, containing about 0.2% V and lower rate of Si and Mn than "Shirokami" No. 2 high class cutlery steel), "Shirokami" No. 2 steel, and "Kigami" No. 2 steel. They compared the hardenability of these steels by means of the L-type Hardenability Test Method, and investigated into the effect of the depth of hardening and the heat treatment prior to quenching on the distribution of hardness.

In a brief summary, the following is asserted by the writers. The PT steel equals "Shirokami" No. 2 and "Kigami" No. 2 in being hardened most properly at around 780°C, but possesses a higher surface hardness and smaller hardenability than the other two, the fact which recommends this steel for manufacture of the piston.

The heat treatment preceding the quenching exerts a conspicuous influence on the hardenability: Compared with those annealed at 750°C and normalized at 850°C, the steels which are oil quenched at 850°C and tempered at 650°C show a better uniformity in depth of hardening and hardness distribution. Hence, the writers conclude that the heat treatment in such a sequence as (1) 750°C annealing, (2) 850°C oil quenching, (3) 650°C tempering, (4) interrupted quenching from 780°C, or quenching in 30°C water for 7~10 seconds and quenching in 60°C oil, is most fitted for this type of steel.

### 〔I〕 緒 言

鑿岩機用ピストン材として、従来白紙2号鋼が使用されているが、その使用目的よりして焼入深度や大きく、したがってこれよりさらに深度の浅いものを要望されている。

よつて著者らは白紙2号鋼に少量のV(約0.2%)を添加しSiおよびMn量を多少減少せしめたPT鋼を溶製し、これと白紙2号および黄紙2号鋼について焼入性の大小を比較するとともに焼入前の熱処理を種々変化せしめたものにつき断面硬度分布状態その他につき検討

し、ピストン材としての実地熱処理作業上の参考に資せんとした。

### 〔II〕 試料および実験方法

試料は4t塩基性弧光電気炉で溶製後それぞれ32~36mm丸に圧延し、750°Cにて焼鈍した。第1表(次頁参照)はこれらの化学成分を示す。

#### (1) 焼入性試験

各試料をSAEにて規定せる第1図(A)(次頁参照)に示すがごとくL型試料に機械仕上し、同図(B)のごとき支持具を取付後Jominy式焼入性試験法と同様な方法(ただし自由水柱の高さのみ4吋である)により<sup>(1)</sup>780°Cおよび920°Cの各温度に20分間加熱後、一端水冷を

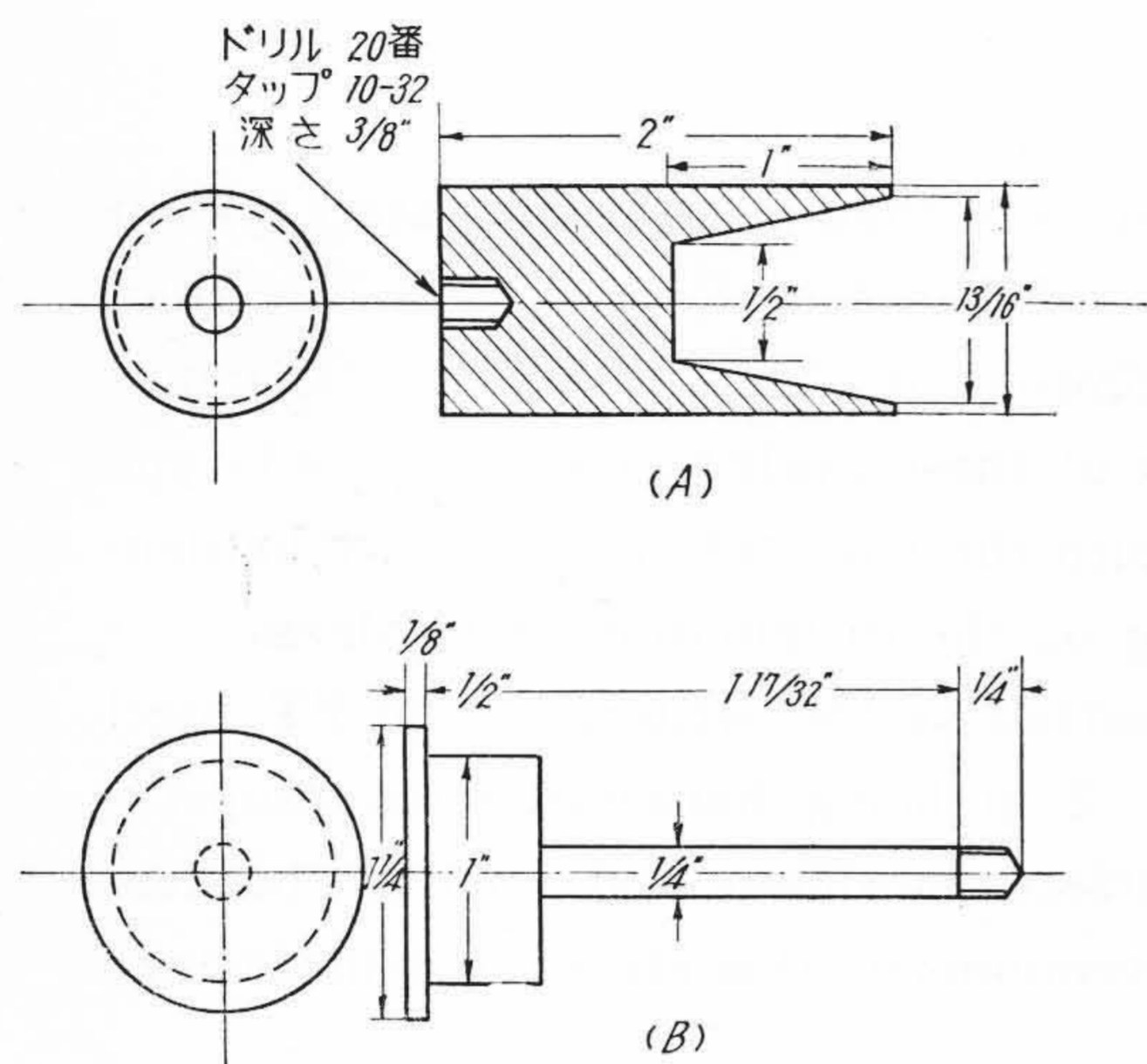
\* 日立製作所安来工場冶金研究所 工博

\*\* \*\*\* 日立製作所安来工場冶金研究所

第 1 表 試 料 の 化 学 成 分

Table 1. Chemical Composition of the Specimens (%)

試 料	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	結晶粒度 Gg
白紙 2 号 鋼 A	1.08	0.15	0.33	0.012	0.002	NiL	0.07	0.07	—	4.8
白紙 2 号 鋼 B	1.09	0.12	0.28	0.013	0.005	NiL	0.08	0.07	—	5.0
白紙 2 号 鋼 C	1.08	0.13	0.25	0.012	0.002	NiL	0.06	0.07	—	6.0
白紙 2 号 鋼 D	1.07	0.11	0.31	0.015	0.003	NiL	0.007	0.07	—	5.2
黄紙 2 号 鋼	1.14	0.18	0.22	0.009	0.005	0.20	0.11	0.02	—	5.3
P T 鋼	1.09	0.14	0.18	0.004	0.002	NiL	0.05	NiL	0.17	5.0



第 1 図 L 型 試 料 (A 図) お よ び 支 持 具 (B 図)  
Fig.1. L-Type Test Piece (A) and Holder (B)

行い試験棒の全長に沿つて 0.015 吋 (0.381 mm) の深さだけ、180 度隔たる両平坦面に研磨し、水冷端よりの硬度変化をロックウェル硬度計により測定した。

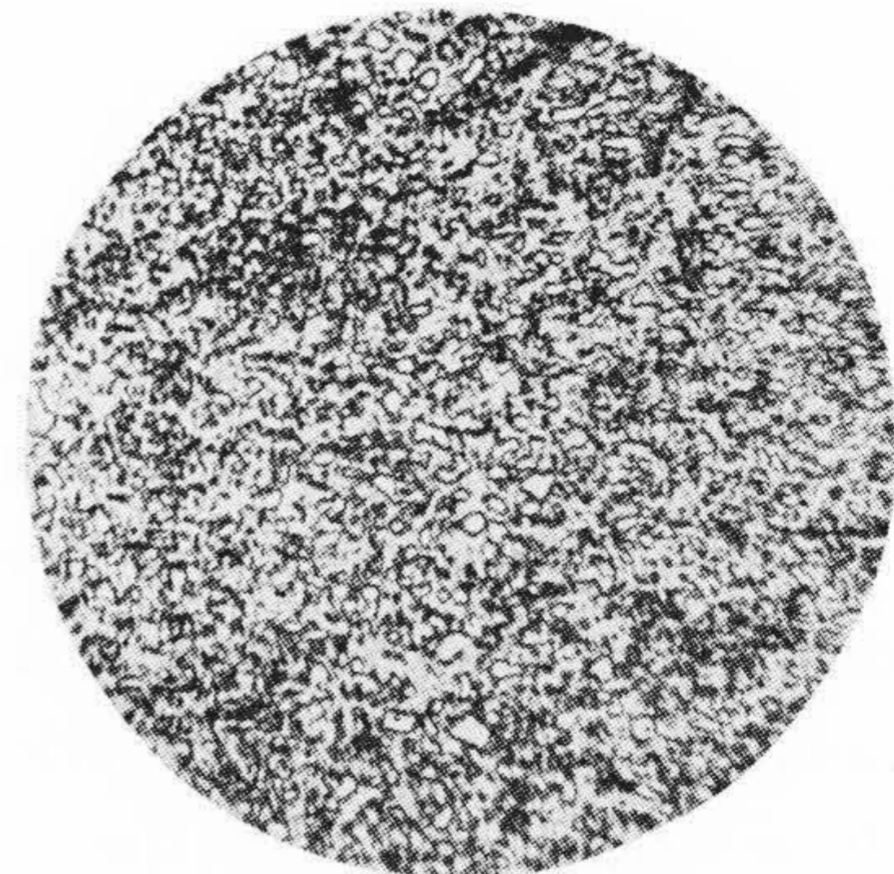
(2) 断面硬度および焼入深度測定試験

PT 鋼の 36 mm 丸に鍛伸後焼鈍せるものを径 30 mm 丸、長さ 70 mm に機械仕上げし、焼入前の熱処理として

- (i) 850°C より油焼入後、650°C にて焼戻せるもの
- (ii) 850°C より焼準せるものおよび、
- (iii) 750°C 焼鈍のまま

の 3 種類とし、これらをそれぞれ 780°C より 30°C の水および 60°C の油に完全冷却し、あるいは二段焼入法により 7、10 および 15 秒間水焼入後油焼入した。しかる後十分注水冷却しながら試料中央部を長さ方向に直角に切断し、ロックウェル硬度計により断面硬度分布を測定した。

つぎに同一断面を 4 等分し、各箇所につき、50% マルテンサイト+50% トルースタイト点を測定し、また 5% HNO<sub>3</sub>、10% HCl および 15% NH<sub>4</sub>OH 各アルコール溶液にて逐次腐蝕し、ブリネルグラスにより着色度の限界点<sup>(2)</sup>を調べ焼入深度を測定した。



第 2 図 PT 鋼 の 焼 鈍 組 織 ×400  
Fig.2. Annealing Structure of PT Steel

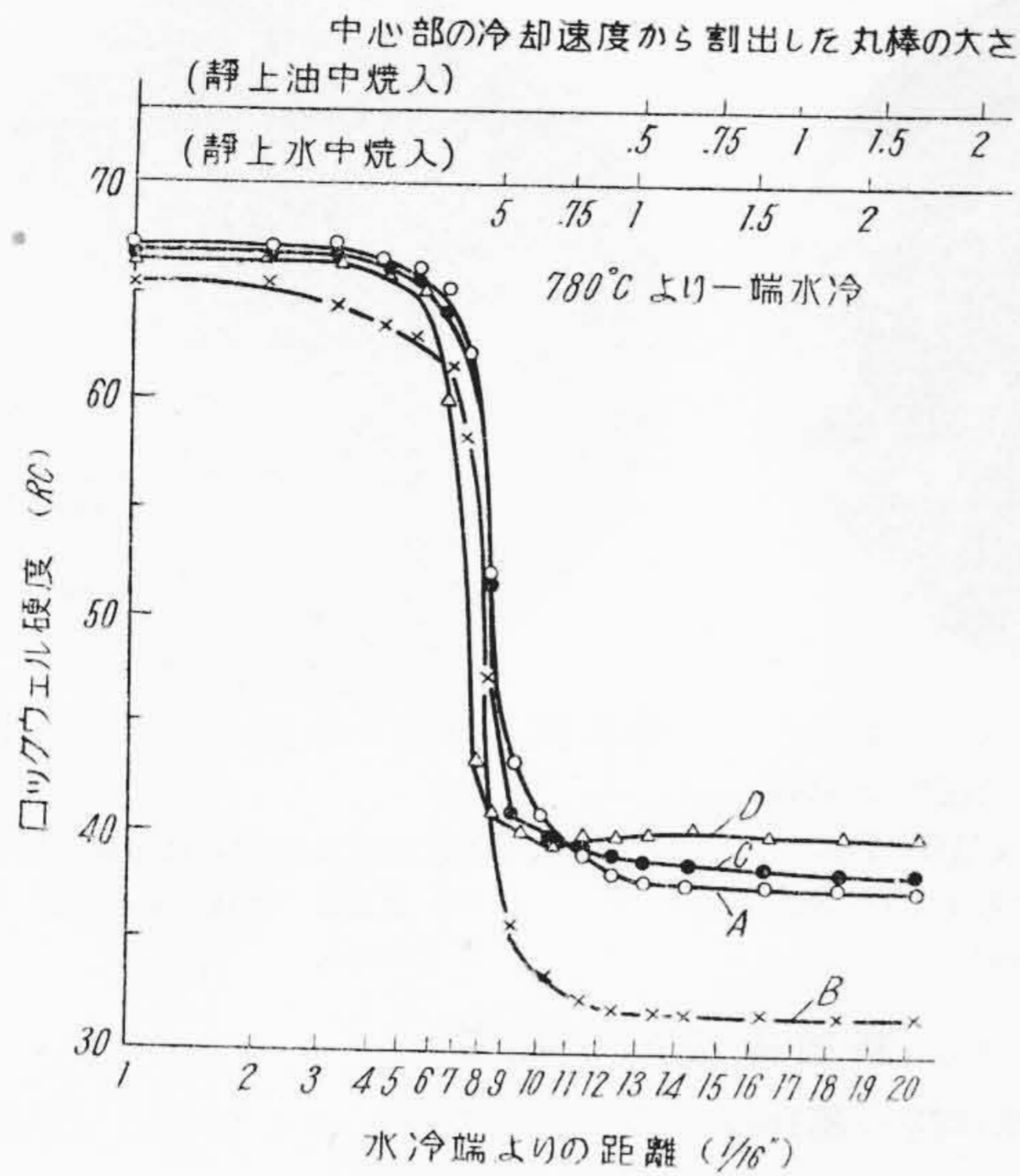
〔III〕 実 験 結 果

(1) 焼入性試験

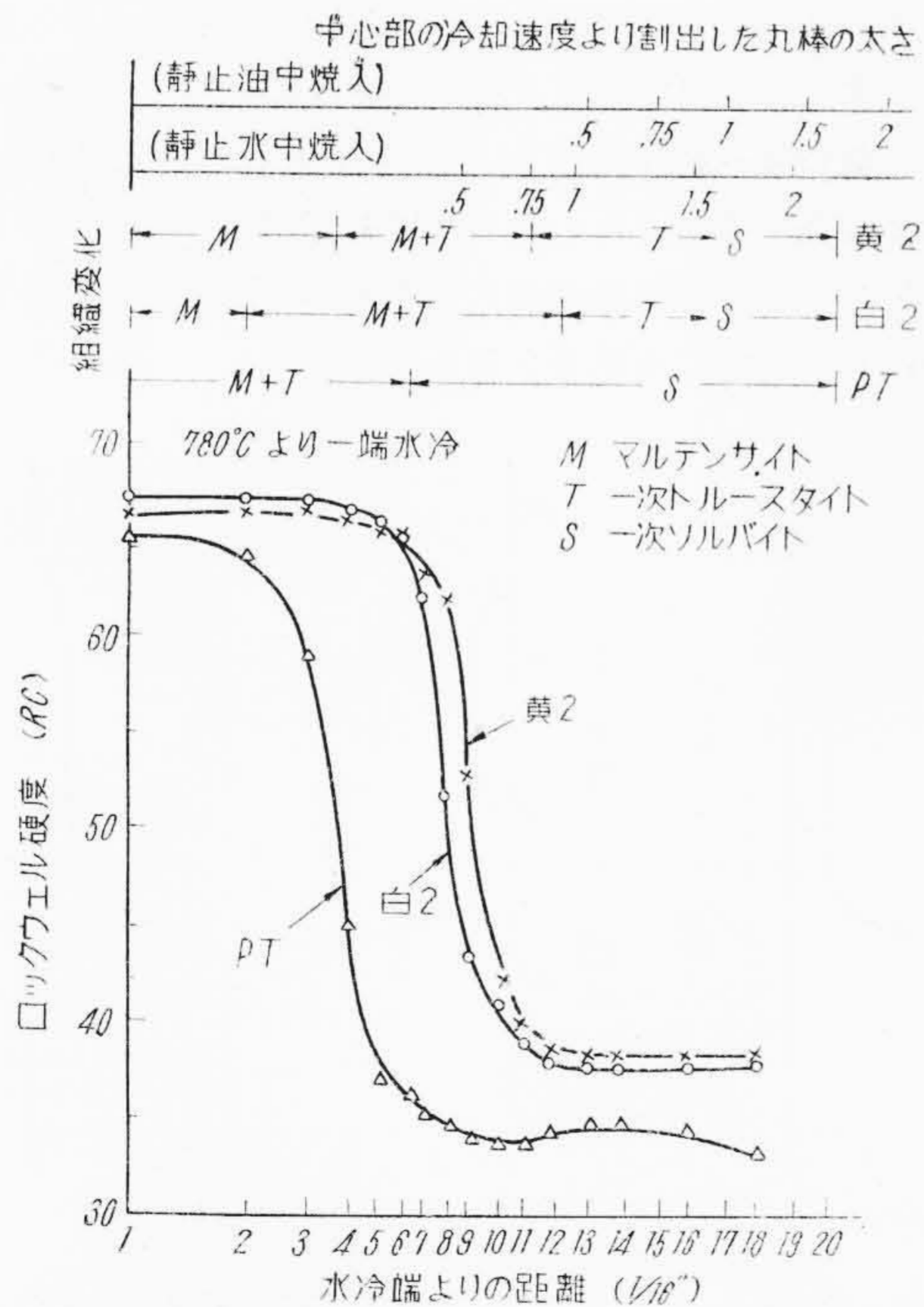
まず各試料につき 750°C 焼鈍組織を検討した。

その結果各試料とも球状パーライト組織にして、かつそのセメントイト粒度および分布状態においてはほとんど大差が認められなかつた。第 2 図は PT 鋼の焼鈍組織を示す。つぎに結晶粒度の影響を検討すべく、学振法により 925°C における粒度を測定した。第 1 表にその結果を附記したが、白紙 2 号鋼 C 試料の粒度はやゝ小であるが、その他においてはほとんど大差ない。

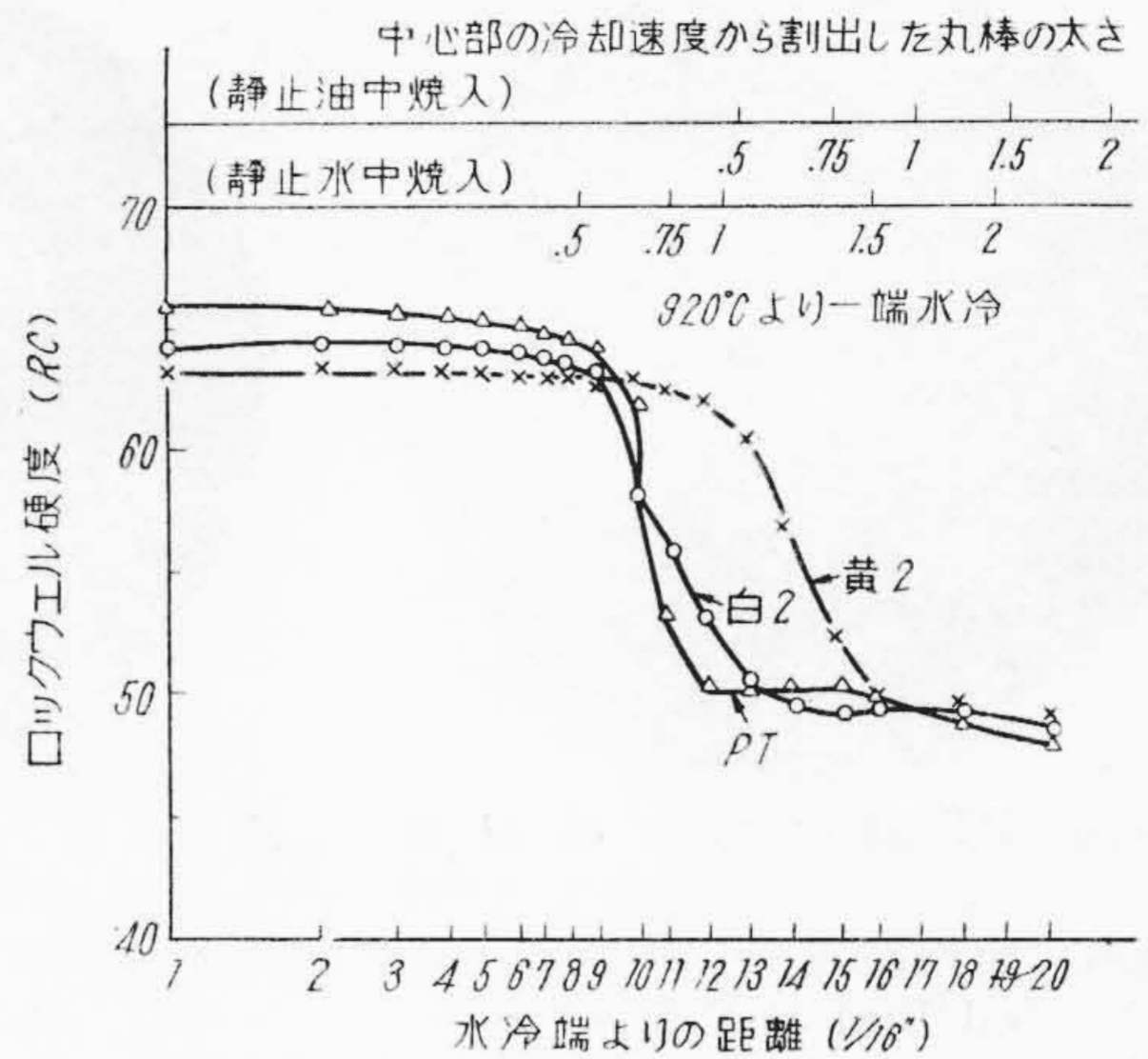
第 3 図は白紙 2 号鋼 A、B、C および D 試料につき 780°C より一端水冷せる結果を SAE にて規定せる L 型焼入性試験結果表示法<sup>(1)</sup>により示したものである。すなわち同図よりあきらかなごとく A、C および D 試料は最高硬度および焼入性ともに大差ないが、B 試料は他に比しいずれも小なる結果を示した。この点成分的にもほとんど大差なく、その理由はあきらかでない。また第 4 図は PT、白紙 2 号 (A 試料) および黄紙 2 号鋼における実験結果を示すが、PT 鋼は水冷端より硬度を低下し、他の 2 試料に比しその最高硬度および焼入性はいずれも小さい。また白紙 2 号および黄紙 2 号鋼は水冷端より約 5/16" 附近の距離までは硬度にあまり差が認められないが、それ以上においては白紙 2 号鋼の方が硬度を低下し焼入性は小さい。



第3図 白紙2号鋼の焼入性試験結果  
Fig.3. Results of Hardenability Test of the Specimen Shirokami No. 2



第4図 PT, 白2および黄2鋼の焼入性および組織試験結果  
Fig.4. Results of Hardenability and Structure Test of PT, Shirokami No. 2 and Kigami No. 2



第5図 PT, 白2および黄2鋼の焼入性試験結果  
Fig.5. Results of Hardenability Test of the Specimen PT, Shirokami No. 2 and Kigami No. 2

つぎに第5図はこれらの試料を 920°C より一端水冷せる結果を示す。すなわち同図よりあきらかなごとく白紙2号および黄紙2号鋼は 780°C より一端水冷せる場合に比し著しく焼入性を増大するが、その最高硬度はいずれもかえつてこれを低下する。しかしてPT鋼においても 780°C よりの場合に比し、著しく焼入性を増大し、白紙2号鋼とほぼ同様な結果を示すが、その最高硬度は大差ない。

すなわちPT鋼は白紙2号および黄紙2号鋼と同様焼入温度は 780°C 附近を最も適当とし、その表面硬度も高いが焼入性はかなり小さいことがあきらかである。

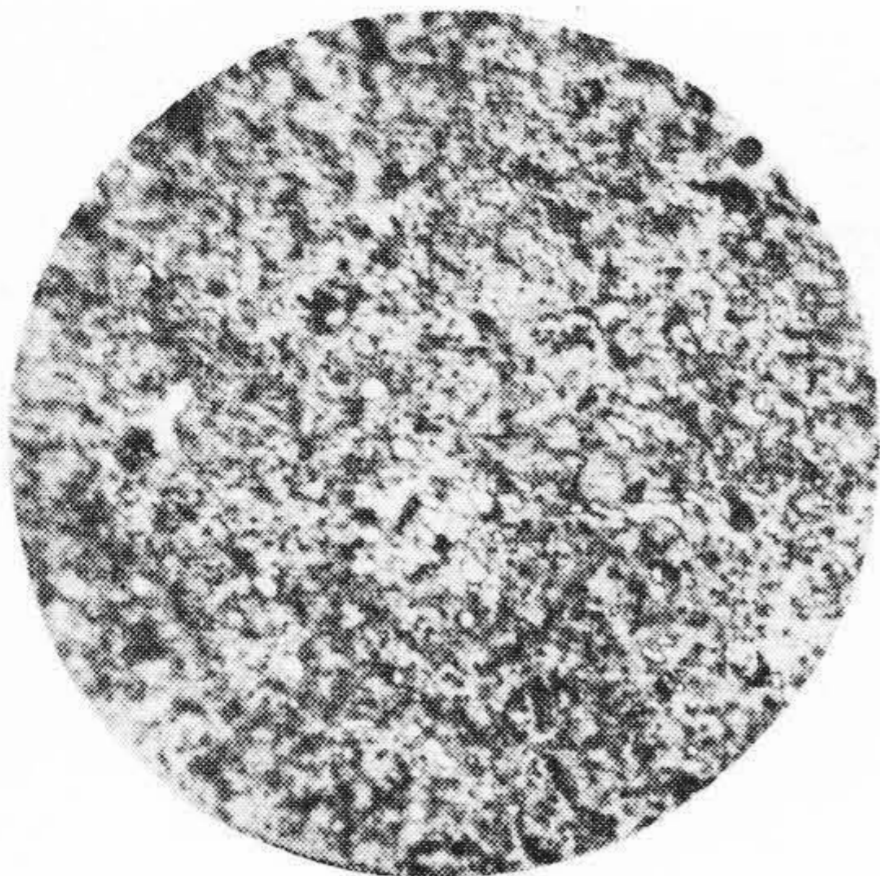
(2) 組織試験

780°C より一端水冷せる各L型試料の硬度測定面における水冷端よりの組織変化を検討した。その結果を第4図に示す。

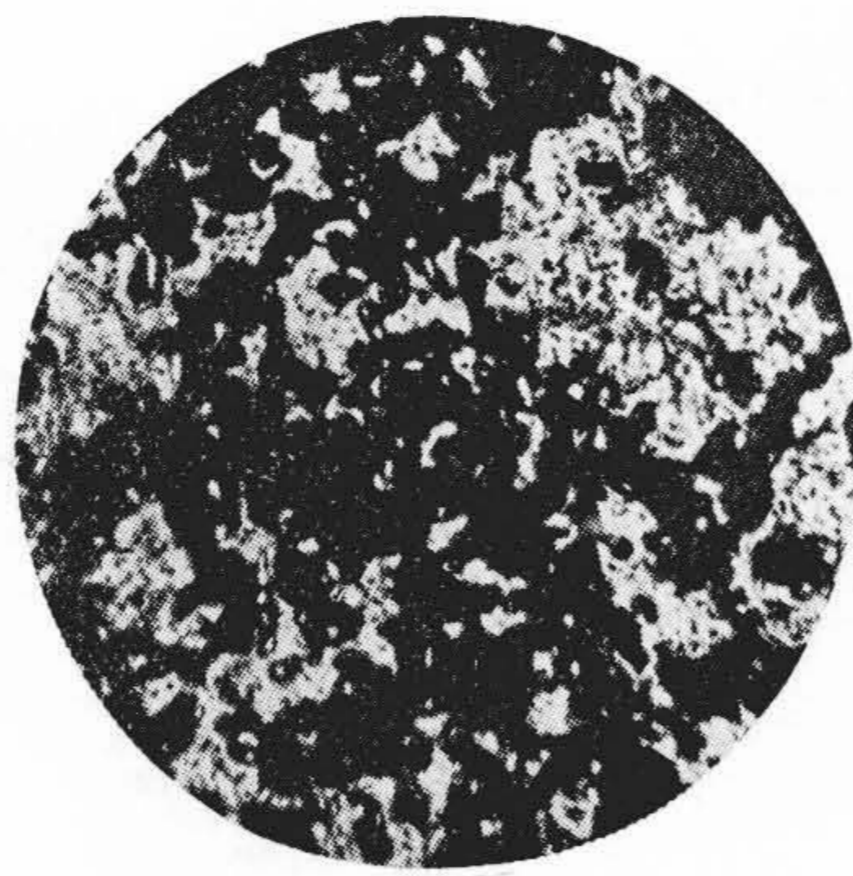
すなわち白紙2号および黄紙2号鋼はいずれも水冷端において、球状炭化物を分布させるマルテンサイト組織を示すが、PT鋼はすでに微量の一次トルースタイトを析出しており、変態速度の大なることを示し、また白紙2号鋼に比し黄紙2号鋼の方は一次トルースタイト析出を生ずる水冷端よりの距離が大である。これらはいずれも前述の硬度変化測定による焼入性試験結果と一致する。

つぎに 920°C より一端水冷せる各試料につき同様検討したが、各試料とも水冷端附近においては針状マルテンサイト組織を示すが、逐次一次トルースタイトを析出し、前述の実験結果とほぼ同様な傾向を示した。

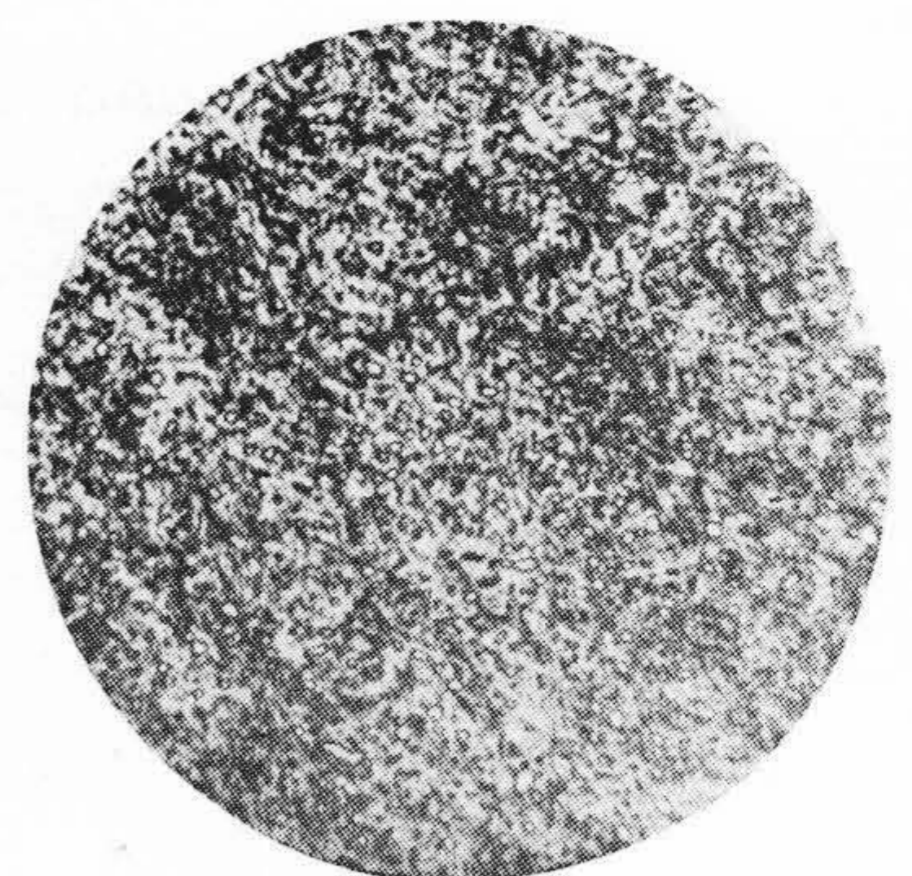
第6図～第9図(次頁参照)はPTおよび白紙2号鋼を 780°C より一端水冷せる場合の水冷端および水冷端より 4/16" の距離における組織を示す。



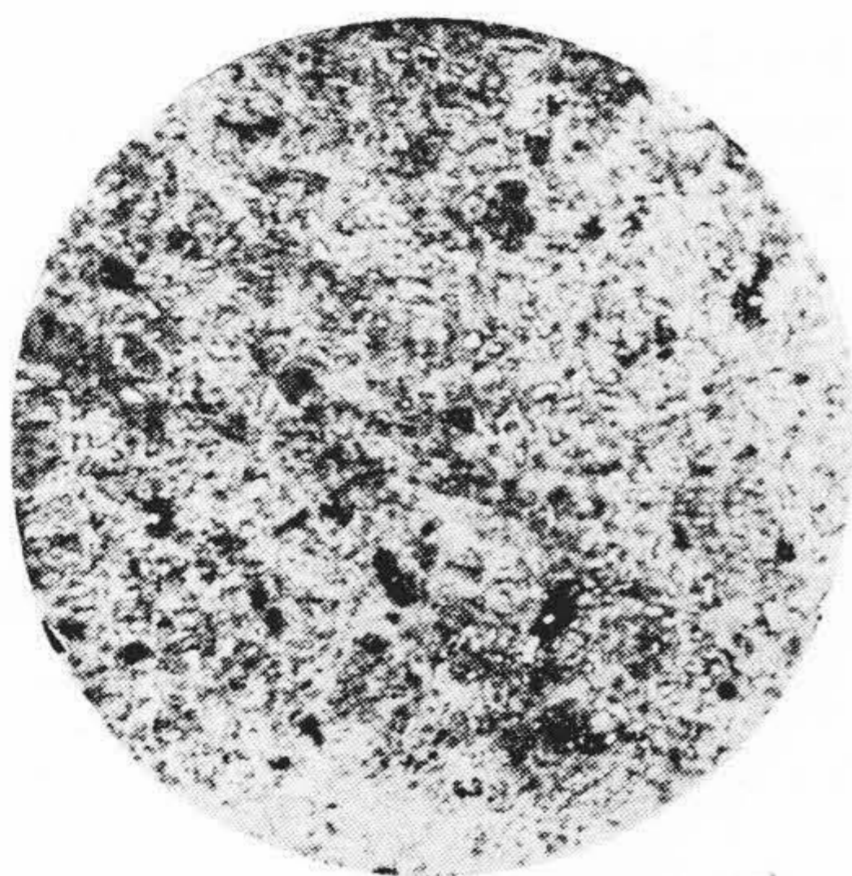
第6図 PT鋼の水冷端組織  
×400  
Fig. 6. Structure at Water Cooled End (PT Steel)



第7図 PT鋼の水冷端より4/16"の距離における組織  
×400  
Fig. 7. Structure at 4/16" Distance from Water Cooled End (PT Steel)



第8図 白紙2号鋼の水冷端組織  
×400  
Fig. 8. Structure at Water Cooled End (Shirokami No. 2 Steel)

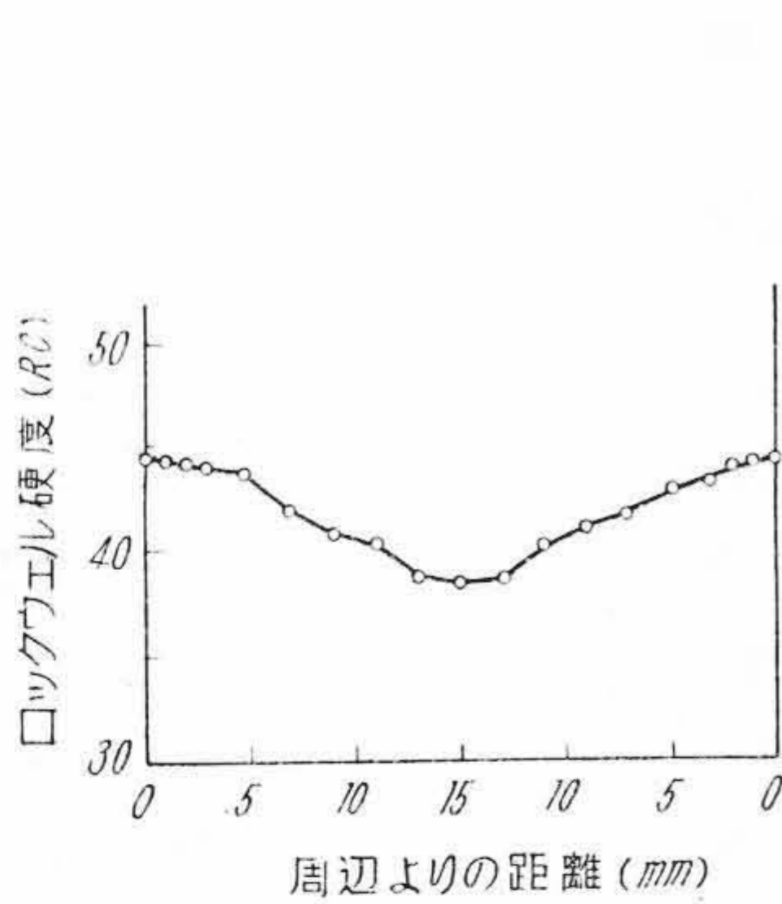


第9図 白紙2号鋼の水冷端より4/16"の距離における組織  
×400  
Fig. 9. Structure at 4/16" Distance from Water Cooled End (Shirokami No. 2 Steel)

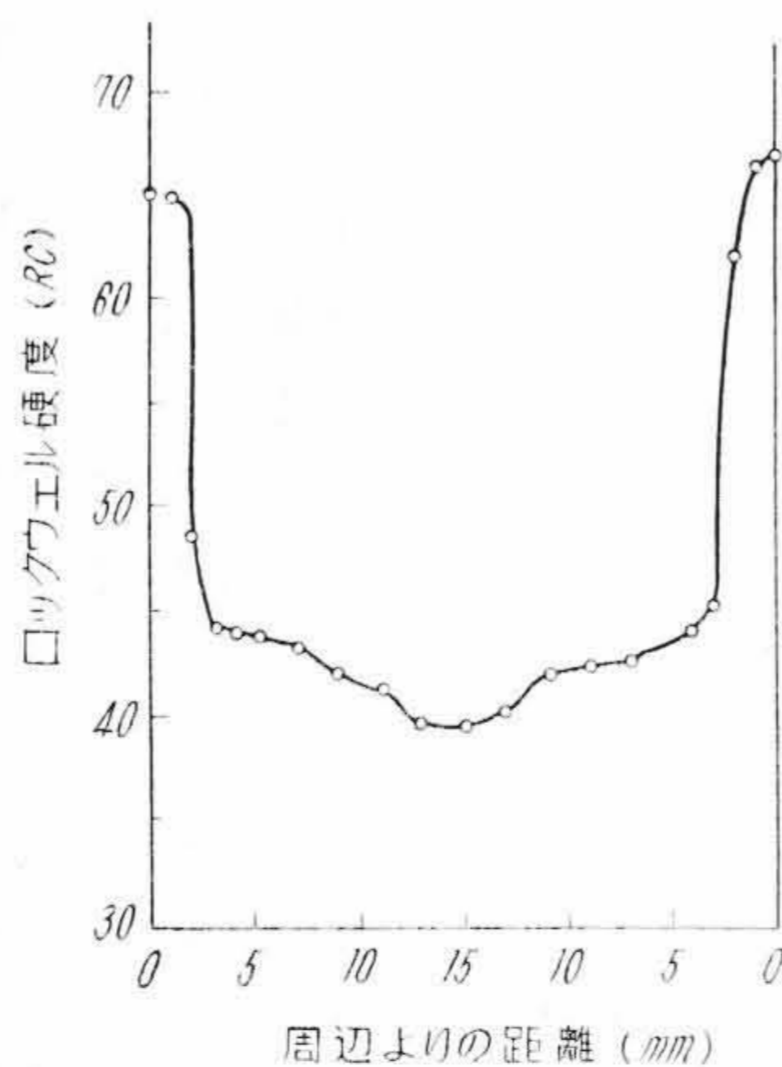
(3) 断面硬度測定結果

第10図～第16図は各種の熱処理をせるものにつき断面硬度分布を測定せる結果を示す。

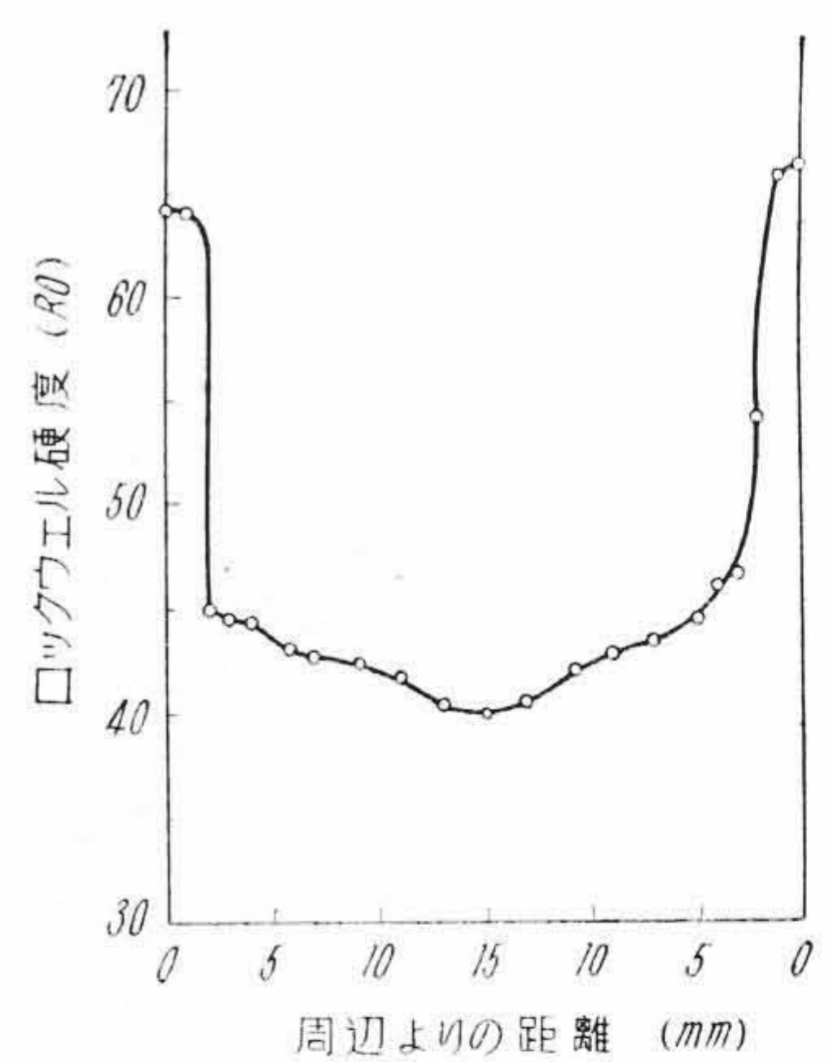
すなわち第10図は前述の(iii)の処理を行つたものを850°Cより油焼入せる結果を示すが、その周辺部硬度はかなり低い。硬度分布は中心線に対し対称的であり良好なる結果を示している。つぎに第11図および第12図は(ii)および(iii)の処理せるものをそれぞれ780°Cより二段焼入法により10秒間水焼入後油中急冷せるものゝ結果を示すが、両者いずれも周辺硬度は部分的に不均一である。第13図～第16図は(i)の処理後水冷時間7, 10, 15秒および完全水冷せるものゝ結果を示すが、いずれも(ii)および(iii)の処理後焼入せるものに比して硬度分布均一にして良好なる結果を示した。



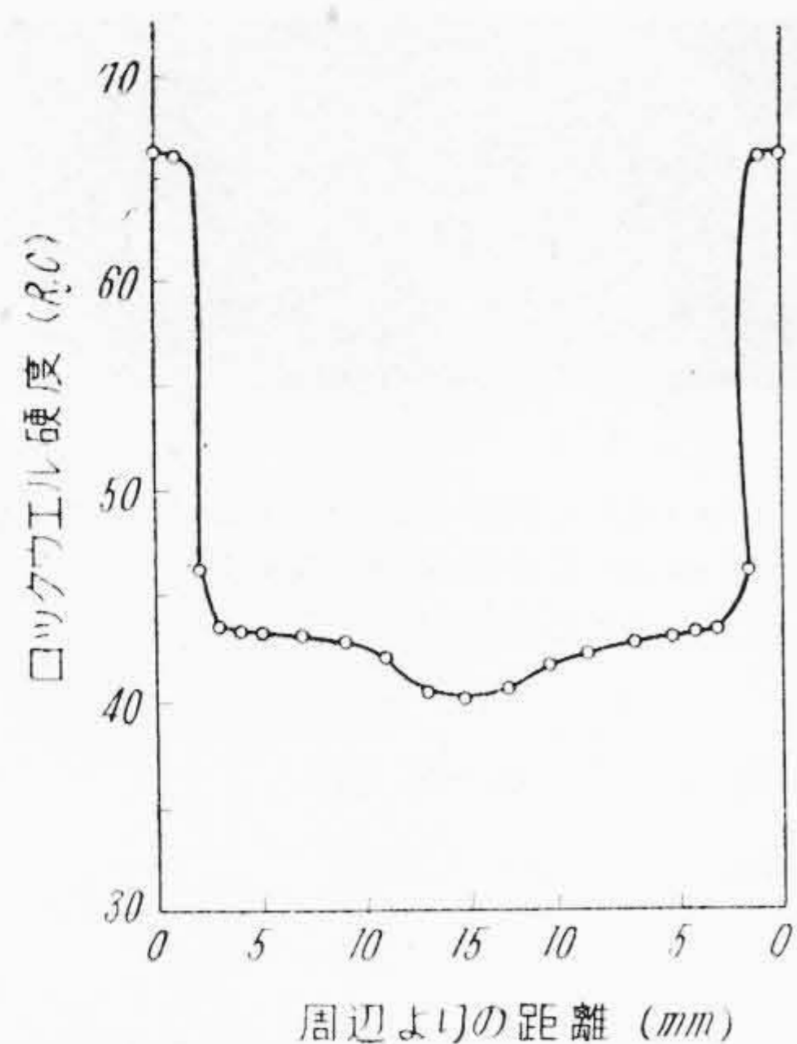
第10図 850°Cより油焼入せるものゝ断面硬度分布  
Fig. 10. Hardness Distribution Curve (Quenched in Oil from 850°C)



第11図 750°C焼鈍→850°C焼準→780°C→10秒間水冷後油冷せるものゝ断面硬度分布  
Fig. 11. Hardness Distribution Curve (750°C Annealed→850°C Normalized→780°C→10 s W.Q.→O.Q.)

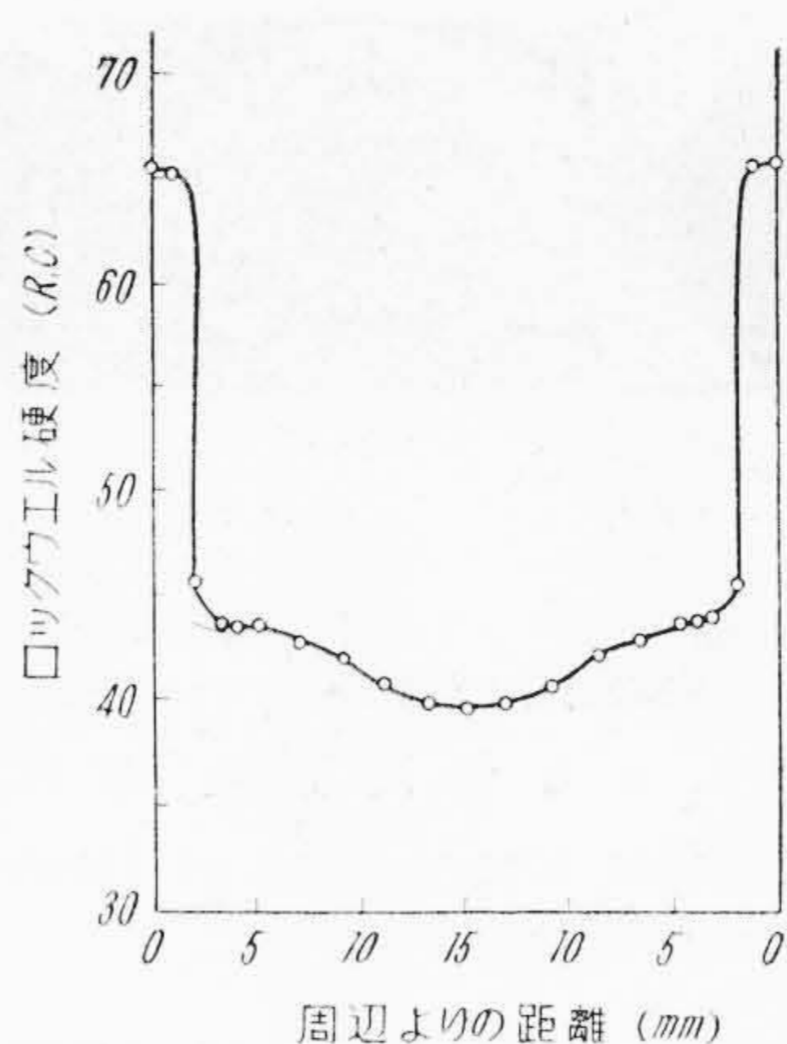


第12図 750°C焼鈍→780°C→10秒間水冷後油冷せるものゝ断面硬度分布  
Fig. 12. Hardness Distribution Curve (750°C Annealed→780°C→10 s W.Q.→O.Q.)



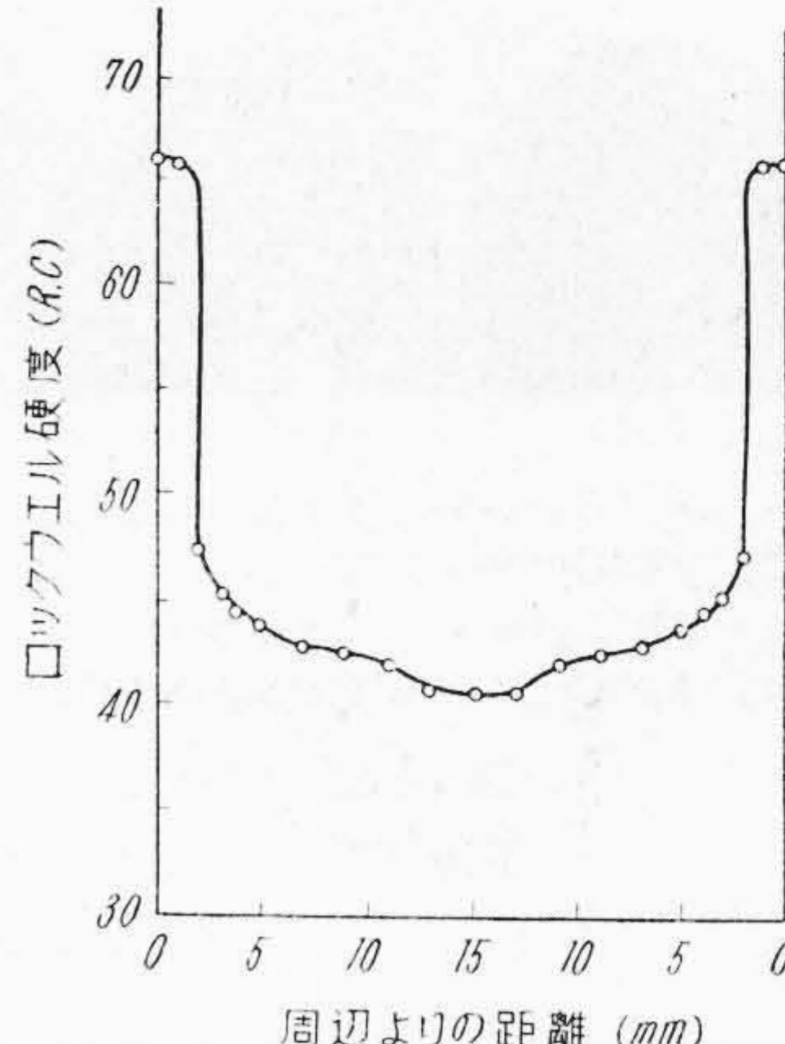
第13図 750°C 焼鈍→850°C 油焼入→650°C 焼戻→780°C→7秒間水冷後油冷せるもの、断面硬度分布

Fig. 13. Hardness Distribution Curve (750°C Annealed→850°C O.Q.→650°C Tempered→780°C→7 s W.Q.→O.Q.)



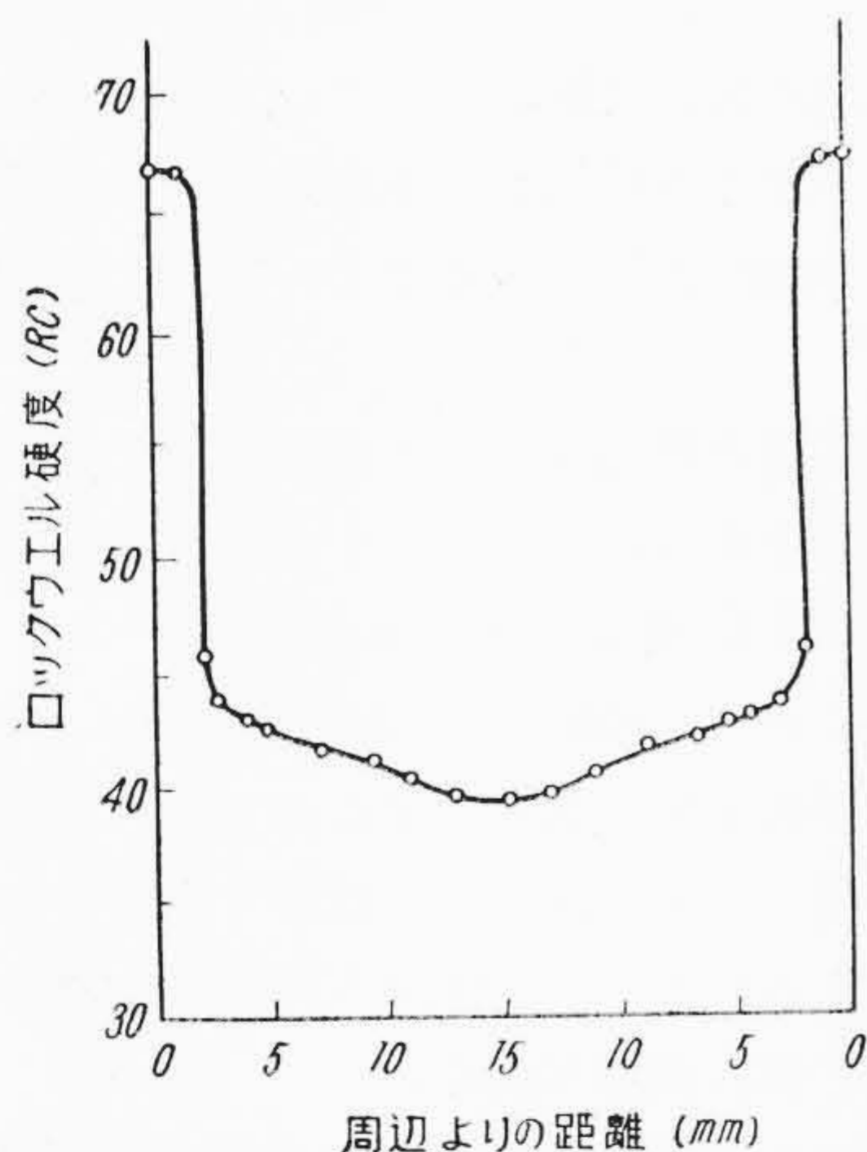
第14図 750°C 焼鈍→850°C 油焼入→650°C 焼戻→780°C→10秒間水冷後油冷せるもの、断面硬度分布

Fig. 14. Hardness Distribution Curve (750°C Annealed→850°C O.Q.→650°C Tempered→780°C→10 s W.Q.→O.Q.)



第15図 750°C 焼鈍→850°C 油焼入→650°C 焼戻→780°C→15秒間水冷後油冷せるもの、断面硬度分布

Fig. 15. Hardness Distribution Curve (750°C Annealed→850°C O.Q.→650°C Tempered→780°C→15 s W.Q.→O.Q.)



第16図 750°C 焼鈍→850°C 油焼入→650°C 焼戻→780°C→水焼入せるもの、断面硬度分布

Fig. 16. Hardness Distribution Curve (750°C Annealed→850°C O.Q.→650°C Tempered→780°C→W.Q.)

(4) 焼入深度測定結果

50% マルテンサイト+50% トルースタイト点および着色度の差異により測定せる結果をそれぞれ第2表および第3表(次頁参照)に示す。また第17図(次頁参照)はその断面状況を示す。

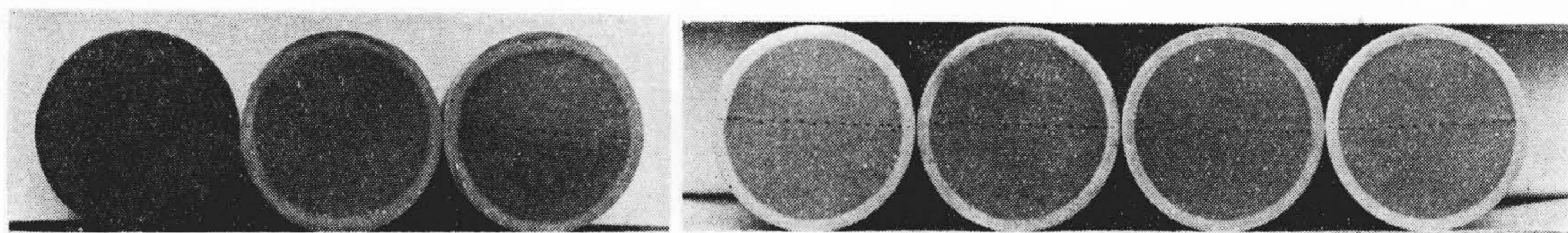
すなわちこれらの結果よりしてあきらかなごとく、焼入前に(ii)および(iii)の処理を行つたものは焼入深度

第2表 50% マルテンサイト+50% トルースタイト点による焼入深度測定結果

Table 2. Results of the Hardening Depth Measurement at the Point of 50% Martensite +50% Troostite

熱 処 理	測 定 箇 所			
	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)
750°C 焼鈍→850°C 焼準→780°C→10秒間水冷後油冷	2.06	1.99	2.34	3.00
750°C 焼鈍→780°C→10秒間水冷後油冷	2.26	2.51	2.20	2.56
750°C 焼鈍→850°C 油焼入→650°C 焼戻→780°C→7秒間水冷後油冷	1.80	1.82	1.80	1.80
750°C 焼鈍→850°C 油焼入→650°C 焼戻→780°C→10秒間水冷後油冷	1.80	1.80	1.82	1.80
750°C 焼鈍→850°C 油焼入→650°C 焼戻→780°C→15秒間水冷後油冷	1.92	1.88	1.92	1.92
750°C 焼鈍→850°C 油焼入→650°C 焼戻→780°C 水焼入	1.88	1.92	1.92	1.90

が部分的に不均一である。すなわち周辺部の一部は中央部と同様着色度大にして、黒灰色を呈し、顕微鏡組織もトルースタイトの部分をも有するが、(i)の処理をせるものはこれらに比し、焼入深度浅くかつ均一にして前述のごとく周辺部にトルースタイトを認めず、全周にわたつて球状炭化物を分布せるマルテンサイト組織を呈している。また (i) の処理を施せるものにおいてその焼入深度を比較するに、15秒および完全水焼入せるものはあまり大差ないが、7および10秒間水焼入せるものはそれらに比しやゝ浅い。



- (1) 750°C焼鈍→850°C油焼入→650°C焼戻→850°C油焼入  
 (2) 750°C焼鈍→780°C→10秒間水冷後油冷  
 (3) 750°C焼鈍→850°C焼準→780°C→10秒間水冷後油冷  
 (4) 750°C焼鈍→850°C油焼入→650°C焼戻→780°C→7秒間水冷後油冷  
 (5) 750°C焼鈍→850°C油焼入→650°C焼戻→780°C→10秒間水冷後油冷  
 (6) 750°C焼鈍→850°C油焼入→650°C焼戻→780°C→15秒間水冷後油冷  
 (7) 750°C焼鈍→850°C油焼入→650°C焼戻→780°C→水焼入

第 17 図 各種熱処理による焼入深度 (着色反応度による場合)

Fig. 17. Hardened Areas for Every Kind of Heat Treating (in the Case by Macroscopic Method)

第 3 表 着色限界点測定法による焼入深度測定結果

Table 3. Results of the Hardening Depth Measurement by Macroscopic Method

熱 処 理	測 定 箇 所			
	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)
750°C焼鈍→850°C焼準→780°C→10秒間水冷後油冷	2.10	2.10	2.35	3.10
750°C焼鈍→780°C→10秒間水冷後油冷	2.30	2.80	2.35	2.85
750°C焼鈍→850°C油焼入→650°C焼戻→780°C→7秒間水冷後油冷	1.85	2.00	1.85	1.85
750°C焼鈍→850°C油焼入→650°C焼戻→780°C→10秒間水冷後油冷	1.85	1.90	1.85	1.85
750°C焼鈍→850°C油焼入→650°C焼戻→780°C→15秒間水冷後油冷	2.05	1.95	2.05	2.00
750°C焼鈍→850°C油焼入→650°C焼戻→780°C水焼入	2.05	2.00	2.00	2.05

よつて本鋼の熱処理法としては(i)の処理後、二段焼入法によつて7~10秒間30°Cの水に急冷後60°Cの油中で冷却するのが適当と思考される。なおこれを従来ピストン材として用いられている白紙2号鋼と比較するに焼入深度は白紙2号鋼よりかなり小であるが、その他においてはほぼ同様な結果を示している<sup>(3)</sup>。したがつてピストン材としては白紙2号鋼に比しPT鋼がより適当であると思われる。

#### [IV] 結 言

PT, 白紙2号および黄紙2号鋼につき、L型焼入性試験法によりその焼入性を検討するとともに、PT鋼の焼入深度および断面硬度分布状態におよぼす焼入前の予備処理の影響につきあわせ検討した。その結果はつぎのごとくである。

- (1) PT鋼は780°Cにおける焼入性および最高硬度は白紙2号および黄紙2号鋼に比し小さいが、920°Cにおいては著るしく焼入性を増大し、白紙2号鋼に比し大差なく、かつその最高硬度は逆に高い。しか

して白紙2号および黄紙2号鋼においても780°Cの場合に比し、920°Cにおける方がその焼入性を増大するが、最高硬度は両鋼種とも残留オーステナイトのため、かえつてこれを低下する。なおいずれの場合においても黄紙2号鋼の焼入性が最も大である。

- (2) 780°Cより一端水冷せる場合白紙2号および黄紙2号鋼は水冷端附近においていずれも球状炭化物を分布せるマルテンサイト組織を示すが、PT鋼は微量の一次トルースタイトを析出し、変態速度が両者に比し大である。なお920°Cの場合は各鋼種とも水冷端において針状マルテンサイトと示し、一次トルースタイト析出点の水冷端よりの距離はPT, 白紙2号鋼において大差なく、黄紙2号鋼最も大である。
- (3) 焼入前の熱処理は焼入深度および硬度分布に大なる影響をおよぼす。しかして焼入前の熱処理としては、750°C焼鈍のままおよび850°Cより焼準せるものに比し、850°C油焼入後650°C焼戻せるものの方が効果的である。すなわち焼入深度均一にしてかつ浅く、その硬度分布状態も良好である。また二段焼入法において、水焼入時間7~10秒のものは他に比し焼入深度が浅い。
- (4) よつて本鋼の熱処理方法としては750°Cにて焼鈍し850°C油焼入、650°C焼戻後780°Cより二段焼入法により、30°Cの水に7~10秒間焼入後60°Cの油中にて焼入するのが適当と思考される。
- (5) なお白紙2号鋼と比較せる場合両者とも上述のごとき熱処理方法が最も適当と思考されるが、その焼入深度はPT鋼の方が浅く、したがつてピストン材としてはよりすぐれた性能を有するものと思考する。

#### 参 考 文 献

- (1) SAE Hand Book 111 (1952)  
 (2) SAE Hand Book 142 (1952)  
 (3) 小柴: 安来研報 第 388 号 (昭 22-7)