

## 高 力 マ レ ブ ル の 研 究

塩谷勝喜\* 牧野迪夫\*\* 松尾正喜\*\*\*

## A Study of High Tension Malleable Iron

By Katsuki Shioya, Michio Makino and Masaki Matsuo  
Tobata Works, Hitachi, Ltd.

## Abstract

High tension malleable irons are made from white cast iron added with various types of alloys. Being so much harder, stronger and more resistant to abrasive wear than black heart iron, they are used for such services where the toughness and high yield points are the first requirements.

The writers had reported in their previous article on their research works concerning the factors influencing mechanical properties of the high tension malleable iron in the course of manufacturing process.

In this issue the writers summarize the results of their experiments on the mechanical properties of this material, i.e. tensile strength, fatigue limit, abrasive wear resistance, selective hardenability, heat resistance and machinability, giving at the same time some instances of high tension malleable iron castings manufactured at the Tobata Works.

## 〔I〕 緒 言

高力マレブルは白銑を熱処理してえられる高硬度、高抗張力の鋳物である。普通黒心マレブルが完全焼鈍により白銑中の全炭素を黒鉛化してテンパーカーボンとフェライトとよりなる組織とするのに対して、高力マレブルは含有炭素の一部を化合炭素の形で残すように製造されたマレブルの一種である。鋼の機械的性質が炭素含有量と熱処理によつて種々異なるごとく、高力マレブルも製造方法によつて組織の基地をパーライト、マルテンサイト、ソルバイト、球状パーライトに変化せしめることによつて種々な機械的性質のものをうることができる。すなわち元の白銑に含有せしめる黒鉛化阻止剤(Mn, Crなど)の量と爾後の熱処理方法の組合せにより、種々な使用目的に応じた組織のものがえられる。

米国では今日その使用はきわめて一般的なものとなつており、第二次世界大戦末期には戦前の生産量の2倍、1955年には2.4倍の生産量に増加している<sup>(1)</sup>。米国規格の下に量産されているもの抗張力40~60 kg/mm<sup>2</sup>、延伸率3~10%であり、この種マレブルは普通黒心マレブルに比して機械的強度および硬度高く耐磨耗性に富み、また必要に応じては高周波焼入などにより局部的に

硬度(H<sub>s</sub> 70)を上げうる、鋳鋼、鍛鋼に比して降伏比高く減衰能大でありしかも切削性が良好であるなどの特長を有するから、自動車部品、内燃機関部品、運搬機械部品に広範囲に活用されている<sup>(2), (3)</sup>。

日立製作所戸畑工場において高力マレブルの研究と製造を開始されたのは菊田博士であり<sup>(4)</sup>、主としてリンクチェーン、テンドークリップなどが量産された。戦後米国のマレブルの事情があきらかにされるに到り我国においてもこの種マレブルに対する一般的認識が高まり各方面からの需要が急増している。戸畑工場は長年に亘りその製造方法の研究と実地作業における製造方式を確立し年とともに製造量が増加している。特に内燃機関部品および自動車部品は米国の方式に倣つて高力マレブルに変更され、従来の高価な鍛造品の一部は高力マレブルで置き替えられた。

筆者らは前回の報告<sup>(5)</sup>において高力マレブルの製造方法について研究を発表したが、今回は高力マレブルの詳細なる認識を紹介するために、高力マレブルの金属材料としての諸性質についての研究を取纏めて以下に報告することとした。またその実用例をも紹介し大方の参考に供せんとするものである。

\* \*\* \*\*\* 日立製作所戸畑工場



第1表 パーライトマレブル規格 (ASTM)  
Table 1. Pearlitic Malleable Iron Specification (ASTM)

番号	級	制定年	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	延伸率 (%)	備考
A-220-4T	43010	1944	42.2	30.2	10	暫定規格
A-220-4T	50070	1944	45.7	35.2	7	
A-220-4T	60005	1944	52.7	42.2	5	
A-220-4T	70003	1944	63.3	49.2	3	

第2表 パーライトマレブル標準 (SAE)  
Table 2. Pearlitic Malleable Iron Standard (SAE)

級	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	延伸率 (%)	代表的硬度 (ブリネル)
43010	42.2	30.2	10	163-207
48005	49.2	33.7	5	179-228
53004	56.2	37.3	4	197-241
60003	56.2	42.2	3	197-241
70002	63.3	49.2	2	241-285

(注) 通仮の焼入れ、焼戻しによつても、上表の各級について、降伏点や抗張力を大きくすることがあるが、これは靱性を減少し硬度を高くするものである。

第3表 高力可鍛鋳鉄品試験規格  
(学振24小委員会制定)

Table 3. High Tension Malleable Iron Specification

種別	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	延伸率 (%)	硬度 (ブリネル)	疲労限界 (kg/mm <sup>2</sup> )
高第一種	40	4	150 以上	12
高第二種	50	3	180 以上	16
高第三種	60	2	210 以上	22

第4表 戸畑工場高力マレブル規格 (昭和30年)  
Table 4. High Tension Malleable Iron Specification of Tobata Works (1955)

種別	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	延伸率 (%)	硬度 (ブリネル)	疲労限界 (kg/mm <sup>2</sup> )
高力-45	45	6	150	—
高力-50	50	5	180	—
高力-55	55	4	200	—
高力-60	60	3	240	20

〔II〕 戸畑工場の高力マレブルの試験規格

米国の高力マレブルの試験規格は ASTM および SAE にそれぞれ第1表および第2表のごとく示されている。

我国では日本学術振興会第24小委員会によつて数年前高力マレブルの試験規格が制定された。その規格は第3表のごとくであつて材質の強度を三種に分類している。

第5表 試料の化学成分  
Table 5. Chemical Compositions

試料記号	材質	化学成分 (%)					ブリネル硬度
		C	Si	Mn	P	S	
BM	黒心マレブル	2.54	1.07	0.32	0.146	0.073	137.0
HM 45	高力-45	2.54	1.07	0.32	0.146	0.073	160.0
HM 50	高力-50	2.32	1.04	0.68	0.154	0.069	228.0

第6表 抗張試験結果  
Table 6. Results of Tensile Test

試料記号	材質	降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	延伸率 (%)	弾性率 (kg/mm <sup>2</sup> )
BM	黒心マレブル	22.8	30.4	6.3	18,500
		22.1	30.8	7.3	18,500
HM 45	高力-45	30.5	43.5	6.4	17,400
		29.8	40.7	4.5	17,200
HM 50	高力-50	37.7	51.6	5.1	19,000
		36.7	49.4	4.9	18,500

第7表 試料の化学成分  
Table 7. Chemical Compositions

試料記号	材質	化学成分 (%)					抗張力 (平均) (kg/mm <sup>2</sup> )
		C	Si	Mn	P	S	
HM-50	高力-50	2.32	1.04	0.68	0.154	0.069	50.0
HM-60	高力-60	2.48	1.13	1.03	0.132	0.078	66.7
HM-60	高力-60	2.42	1.09	1.00	0.101	0.088	63.7

戸畑工場においては研究室の実験結果ならびに実地製造した製品の試験結果に基づき第4表に示すごとき規格を規定している。鋳物の均一性を主眼として多年の実地作業により高度の均一性を確認した上でこの規格は規定されたものである。

〔III〕 高力マレブルの諸性質の研究

高力マレブルが金属材料として種々の用途に当てられる場合、その諸性質の研究結果に基づいて有効に使用されねばならない。

前記せるごとく高力マレブルの金属材料としての特質は高抗張力(高降伏比)、高疲労限、耐磨耗性、局部焼入性、耐熱性、切削性である。以下順を追つてこれらの特質についての研究結果を述べる。

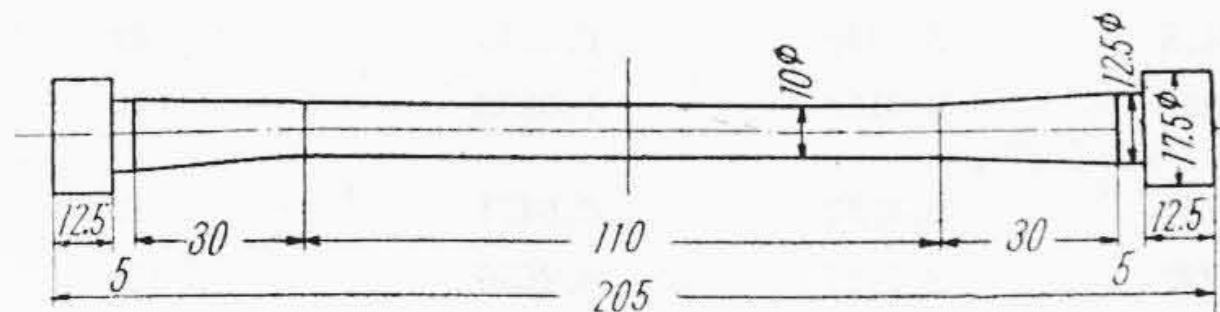
(1) 抗張試験

試料は黒心マレブル、高力-45、高力-50 の三種である。それらの化学成分を第5表に示す。20mmφ の黒皮試験棒より第1図に示すごとき試験片を切出し作製した。標点距離は100mmであり、試験機はアムスラー試

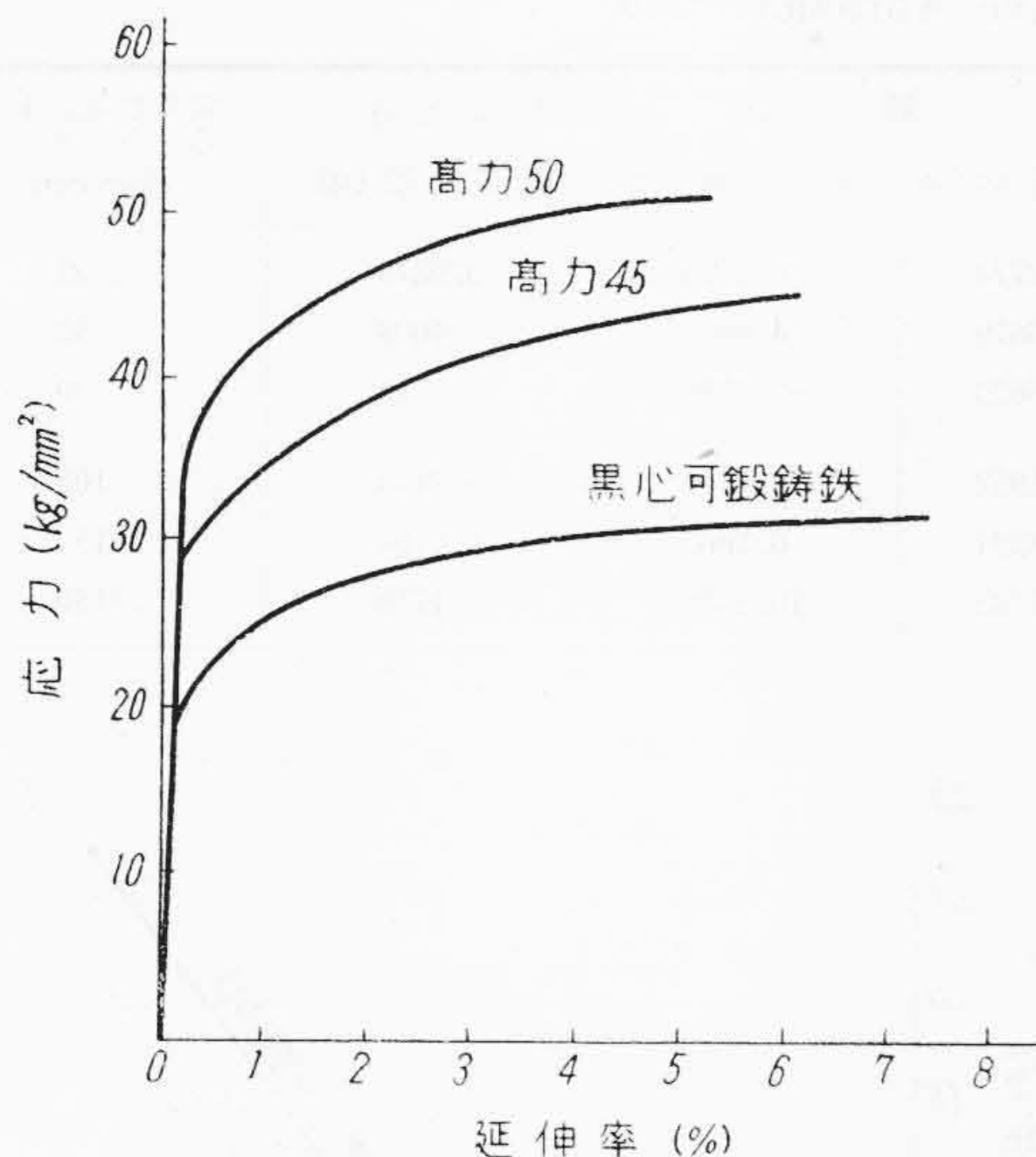


第8表 試料の化学成分  
Table 8. Chemical Compositions

試料記号	材質	化学成分 (%)					ブリネ ル硬度
		C	Si	Mn	P	S	
S	鍛鋼(標準試料)	0.58	0.21	0.51	0.051	0.008	190
CI	普通 鑄 鉄	3.69	2.12	1.04	0.171	0.049	160
CS	鑄 鋼	0.12	0.30	0.71	0.031	0.009	126
BM	黒心マレブル	2.54	1.05	0.32	0.130	0.093	137
HM	高力マレブル	2.32	1.04	0.68	0.154	0.069	228



第1図 抗張試験片寸法  
Fig. 1. Tensile Test Piece

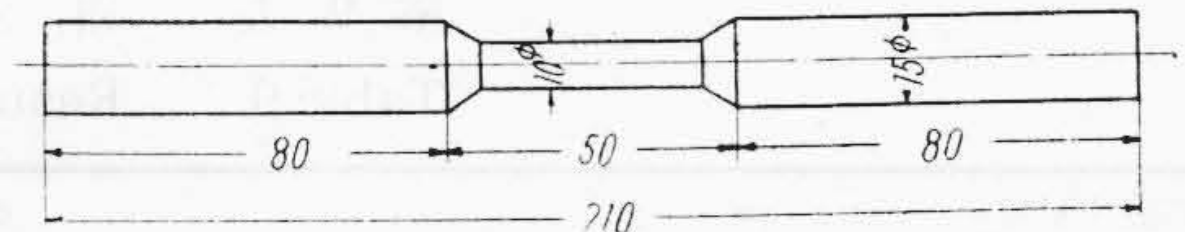


第2図 応力—歪曲線図  
Fig. 2. Stress—Strain Curves

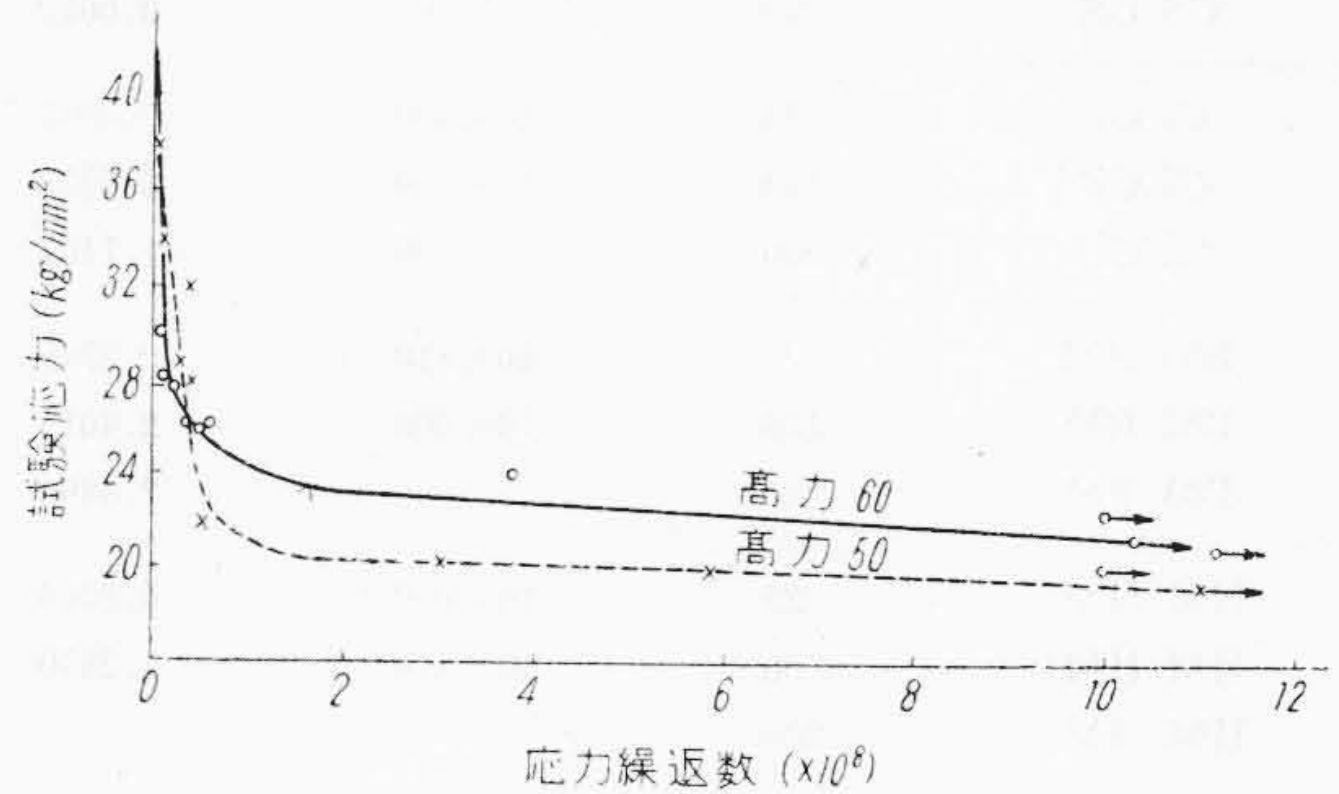
験機 (10 t) である。試験結果は第6表および第2図に示すごとくである。第6表の降伏点は残留歪を 0.2% として定めた。降伏比は黒心マレブル, 高力マレブルのいずれも約 73% であり, 弾性限は約 18,000 kg/mm<sup>2</sup> である。

(2) 疲労試験

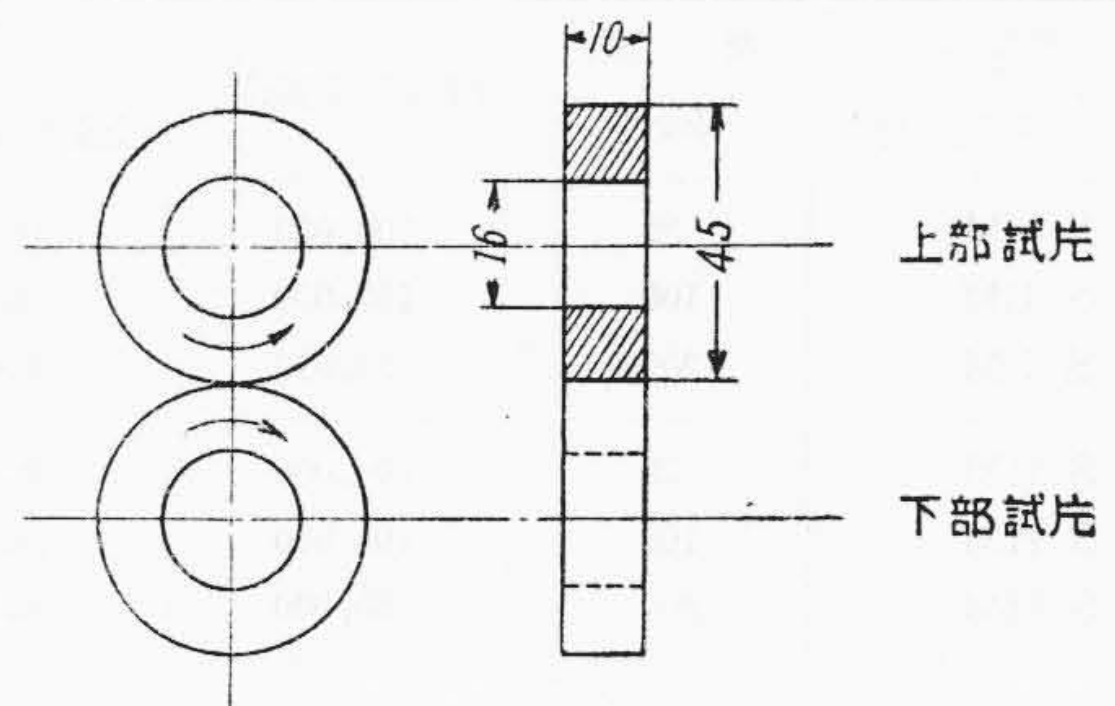
試料は高力-50, 高力-60 であり, それらの化学成分は第7表に示す。20 mmφ の黒皮試験棒より第3図に示すごとく試験片を切出し作製した。小野式繰返曲げ疲労試験機を用いて測定した。実験結果は第4図に示すごとくである。すなわち高力-50 の疲労限は約 19 kg/mm<sup>2</sup>,



第3図 疲労試験片寸法  
Fig. 3. Fatigue Test Piece



第4図 疲労試験結果  
Fig. 4. Results of Fatigue Test



第5図 磨耗試験片  
Fig. 5. Abrasion Test Piece

高力-60 の疲労限は約 21 kg/mm<sup>2</sup> である。これらの値は設計の際に利用しうると信ずる。

(3) 磨耗試験

(A) 乾態磨耗

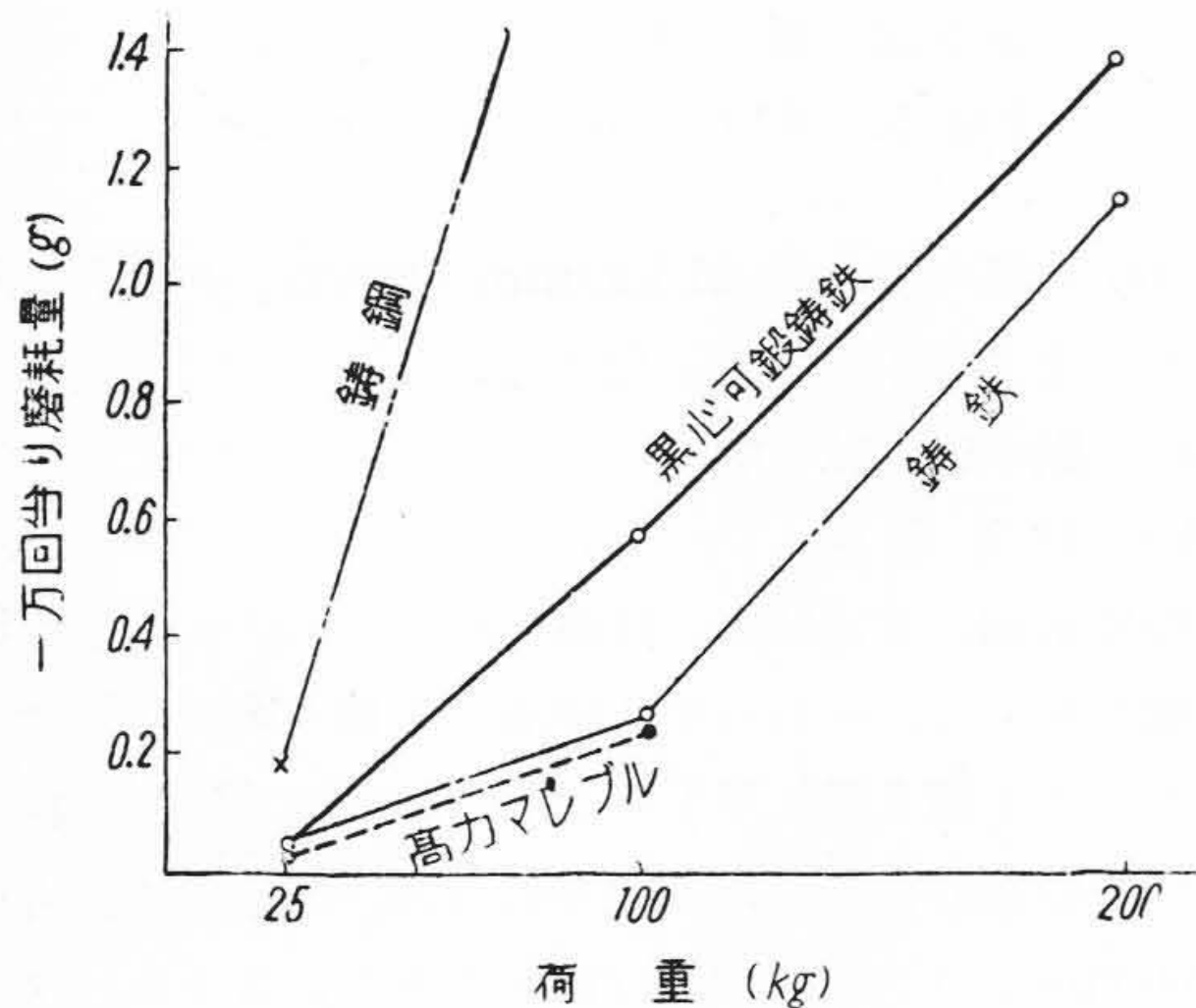
試料は鍛鋼, 普通鑄鉄, 鑄鋼, 黒心マレブル, 高力-50 の4種であつて, それらの化学成分を第8表に示した。試料の方法を第5図に示した。アムスラー式磨耗試験機を用いて乾態の転り磨耗試験を行つた。回転数は上部試料 200 rpm, 下部試料 220 rpm であり, ストロークは零である。試料の滑り速度は 2.81 m/min である。相互磨耗は鑄鋼, 鑄鉄, 黒心マレブル, 高力-50 について行い, 相對磨耗は黒心マレブル, 高力-50 について行つた。荷重は 25 kg, 100 kg, 200 kg の3種類であり, 回転数は鑄鋼の場合を除き荷重が 25 kg および 100 kg の場合は 100,000 回, 200 kg の場合は 50,000 回とした。試験条件を一定とするためエメリー紙を当て上下試料とも 1,000 回だけ摩擦面をあらかじめ研磨した。試験後の重

第9表 相互磨耗試験の結果  
Table 9. Results of Mutual Abrasion Test

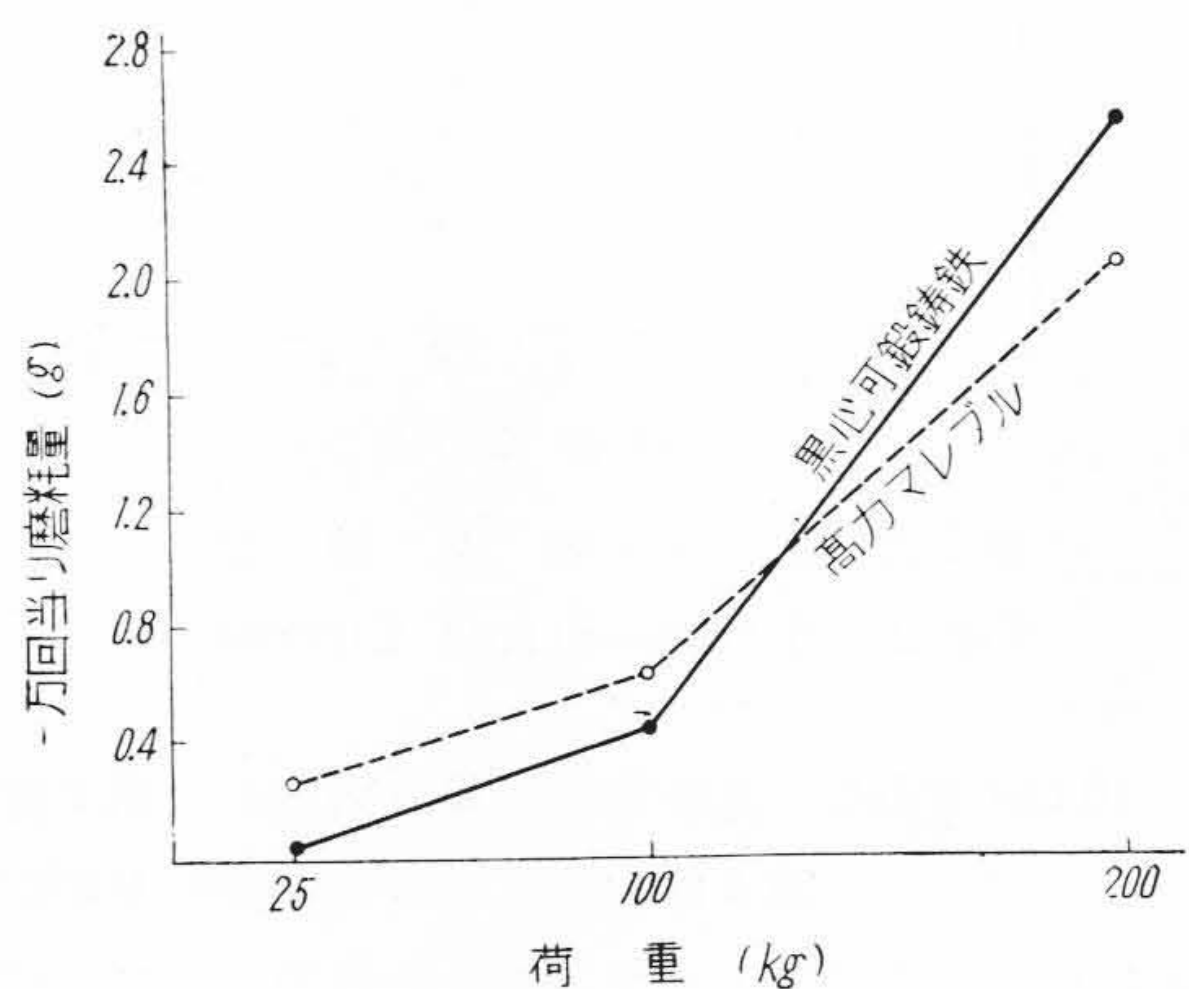
上部試片材質 下部試片材質	荷重 (kg)	下部試片回転数	磨耗量 (g)			1万回当り 総磨耗量 (g)	定常磨耗におけ るベクトル (kg-cm)
			上部試片磨耗量	下部試片磨耗量	総磨耗量		
CS/CS	25	100,000	0.7111	1.0902	1.8013	0.18013	100
CS/CS	100	20,000	3.1641	1.0726	4.2367	2.11865	>150
CS/CS	200	1,000	0.0612	0.1254	0.1866	—	>150
Ci/Ci	25	100,000	0.0993	0.1042	0.2035	0.0204	35
Ci/Ci	100	100,000	0.6923	2.0050	2.6973	0.2697	140
Ci/Ci	200	50,200	1.1404	4.7802	5.9206	1.1793	>150
BM/BM	25	100,810	0.2349	0.2667	0.5016	0.0500	25
BM/BM	100	100,000	2.4015	3.3415	5.7430	0.5743	68
BM/BM	200	50,000	2.6890	4.2268	6.9158	1.3833	90
HM/HM	25	100,050	0.2006	0.2741	0.4747	0.0474	70
HM/HM	100	101,270	1.2890	1.4227	2.7117	0.2656	>150
HM/HM	200	—	—	—	—	—	>150

第10表 相対磨耗試験の結果  
Table 10. Results of Relative Abrasion Test

上部試片材質 下部試片材質	荷重 (kg)	下部試片回転数	磨耗量 (g)			1万回当り 総磨耗量 (g)	定常磨耗におけ るトルク (kg-cm)
			上部試片磨耗量	下部試片磨耗量	総磨耗量		
S/BM	25	100,030	0.0022	0.2772	0.2794	0.0279	21
S/BM	100	102,030	0.0014	4.0679	4.0693	0.4008	53
S/BM	200	50,020	0.0032	12.5620	12.5588	2.5118	90
S/HM	25	100,000	0.2594	2.1952	2.4546	0.2454	105
S/HM	100	100,000	0.3371	5.8294	6.1665	0.6166	>150
S/HM	200	50,000	0.1203	10.7393	10.8596	2.1719	>150



第6図 相互磨耗試験結果  
Fig. 6. Results of Mutual Abrasion Test



第7図 相対磨耗試験結果  
Fig. 7. Results of Relative Abrasion Test

量減少をもつて磨耗量とし、10,000回当りの平均磨耗量を算出して耐磨耗性の比較を行った。実験結果は第9表、第10表および第6図、第7図に示すごとくである。

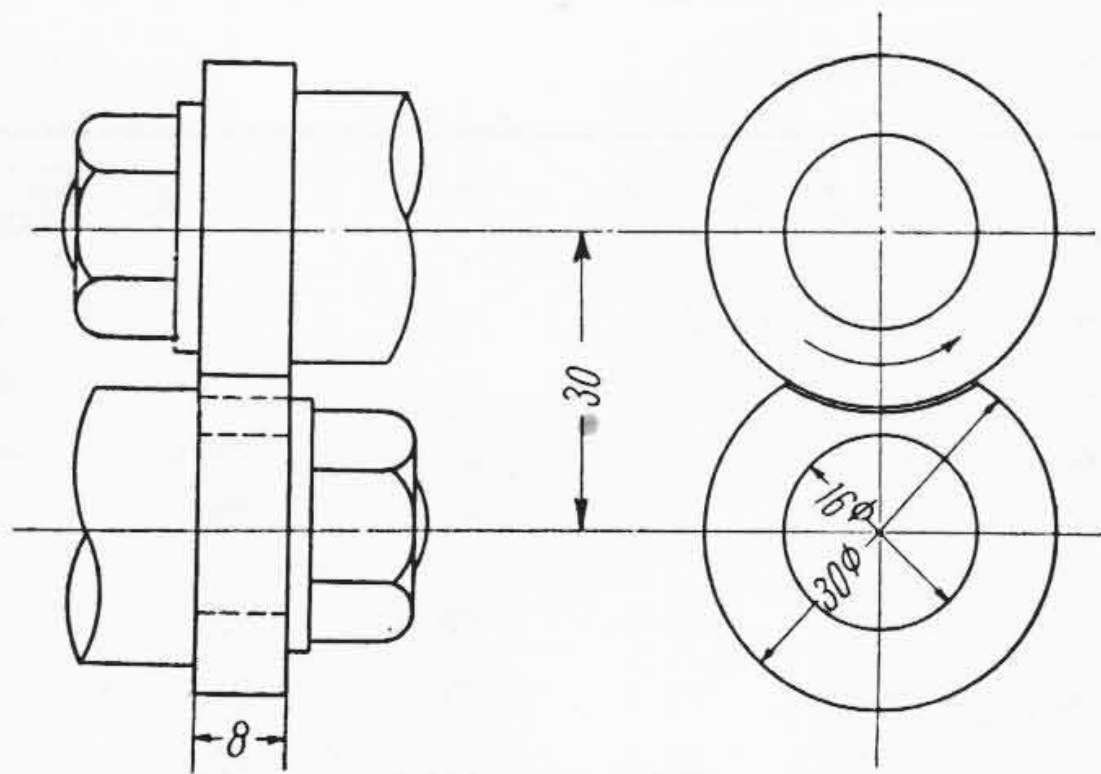
相互磨耗について見るに鑄鋼はもつとも磨耗がいちぢるしく、鑄鉄、黒心マレブル、高力マレブルは25kgに

においては大体類似の磨耗を示した。100kgにおいては黒心マレブルは鑄鉄、高力マレブルに比して磨耗が大であるが後の二者はほとんど同程度の磨耗を示した。200kgでは黒心マレブルをのぞいて各試料とも摩擦面のトルクが過大となり、鑄鋼、高力マレブルは摩擦面の流動

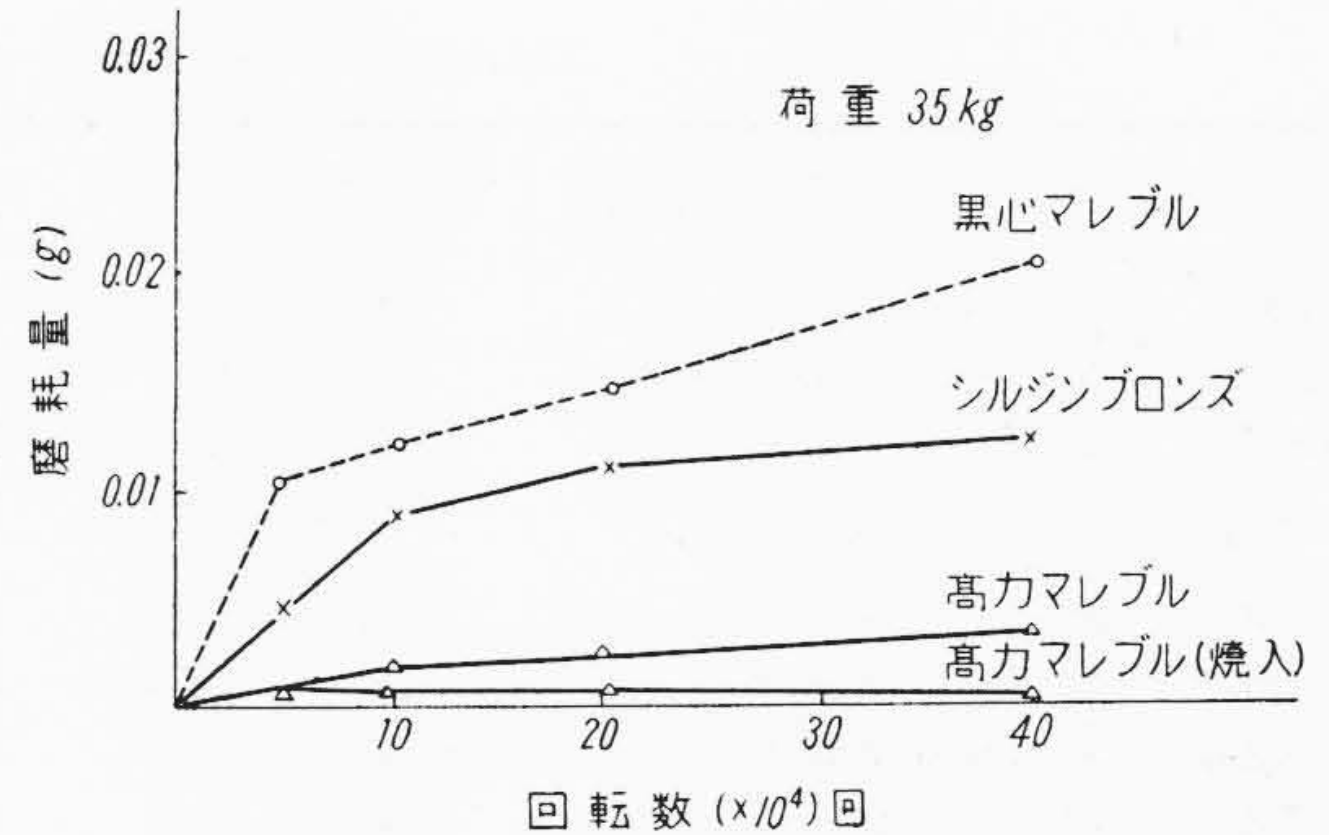


第 11 表 試験片の化学成分と硬度  
Table 11. Chemical Compositions

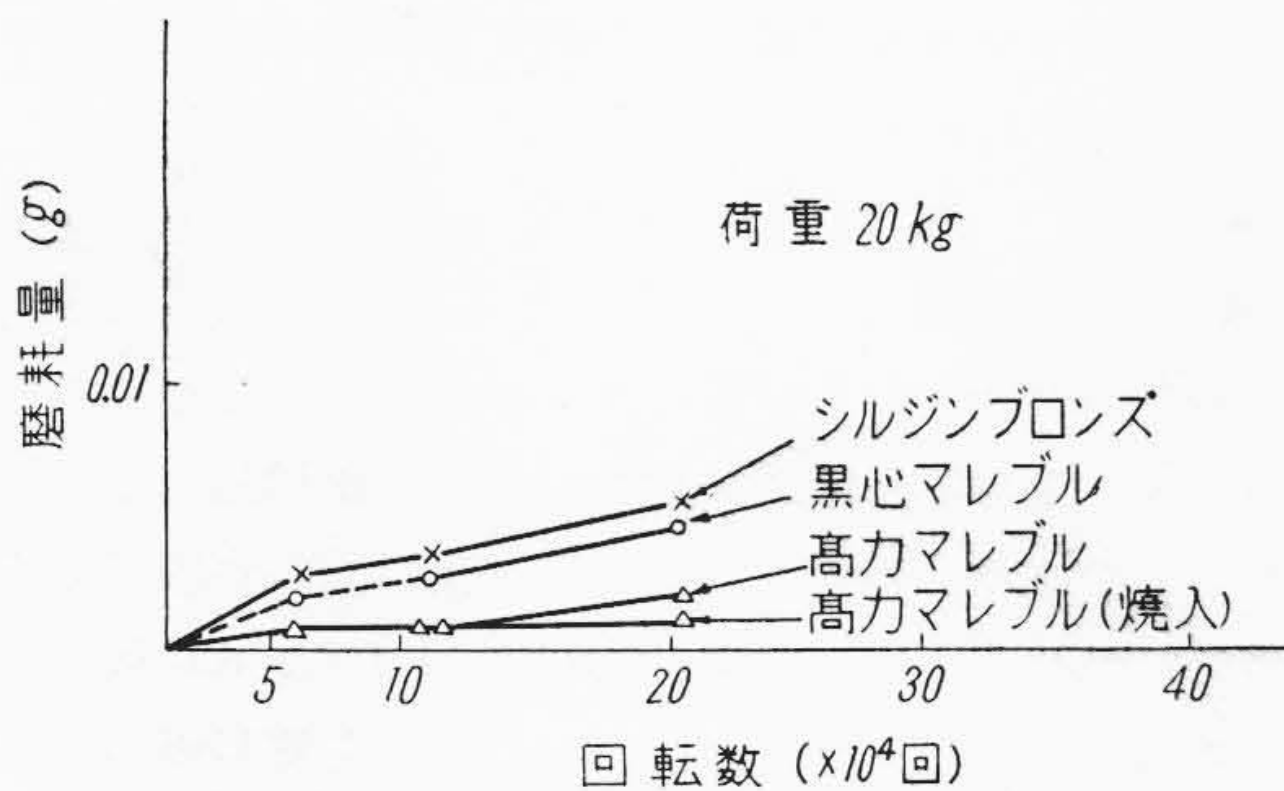
	化 学 成 分 (%)						硬 度	
	C	Si	Mn	P	S	Cr		
黒心マレブル	2.43	1.02	0.36	0.106	0.123	0.030	—	HB 126
高カマレブル	2.54	1.06	0.72	0.118	0.094	0.030	—	HB 226 焼入したものは HRC 57
シルジブロンズ	—	4.32	—	—	—	—	Zn 11.35	HB 150
滲炭鋼	0.22	0.23	0.65	0.018	0.009	1.11	Ni 0.18 Mo 0.24	HB 406



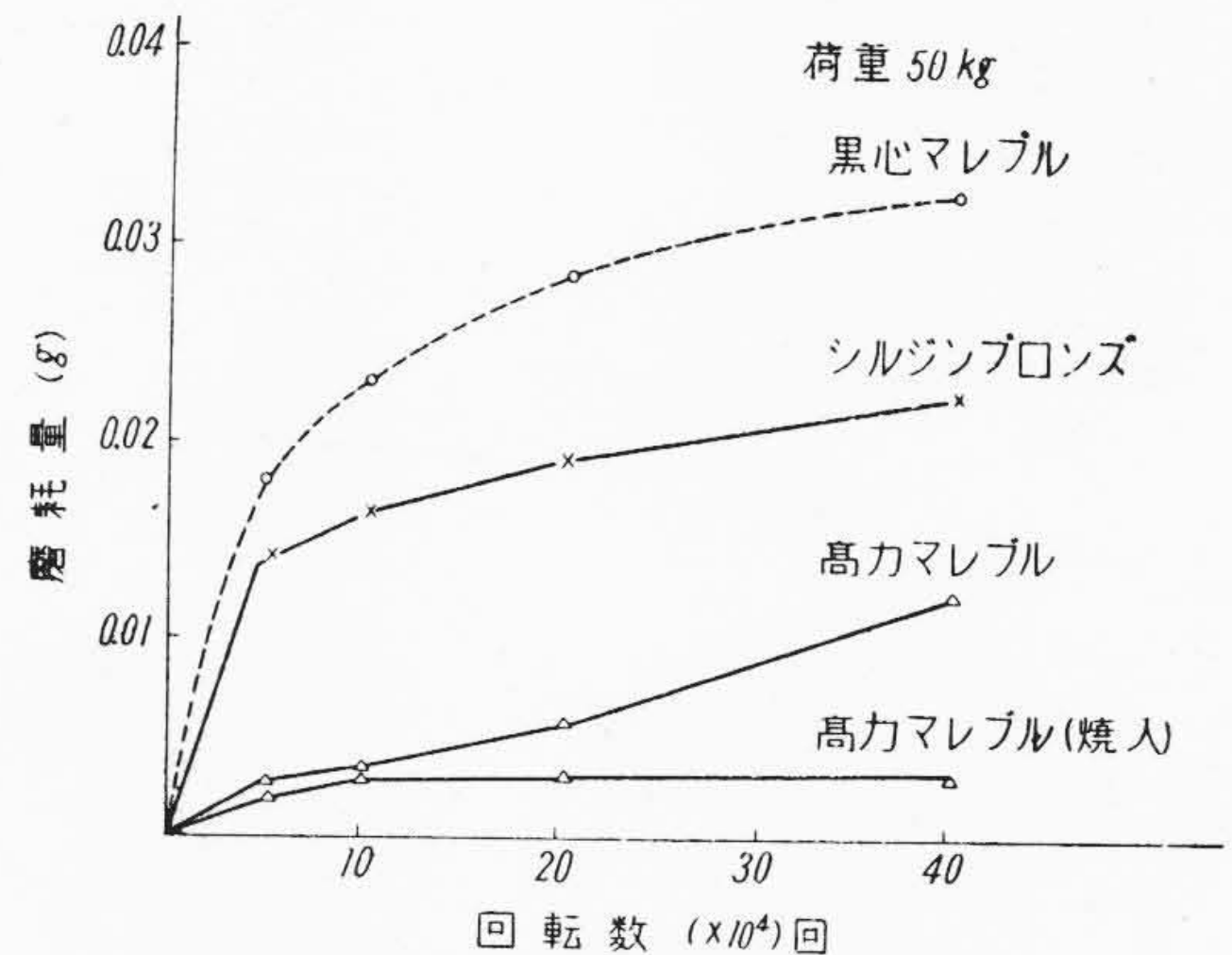
第 8 図 磨耗試験片  
Fig. 8. Abrasion Test Piece



第 10 図 磨耗試験結果 (荷重 35 kg)  
Fig. 10. Results of Abrasion Test (Load 35 kg)



第 9 図 磨耗試験結果 (荷重 25 kg)  
Fig. 9. Results of Abrasion Test (Load 25 kg)



第 11 図 磨耗試験結果 (荷重 50 kg)  
Fig. 11. Results of Abrasion Test (Load 50 kg)

がいちぢるしくなつて正確な測定ができなかつた。

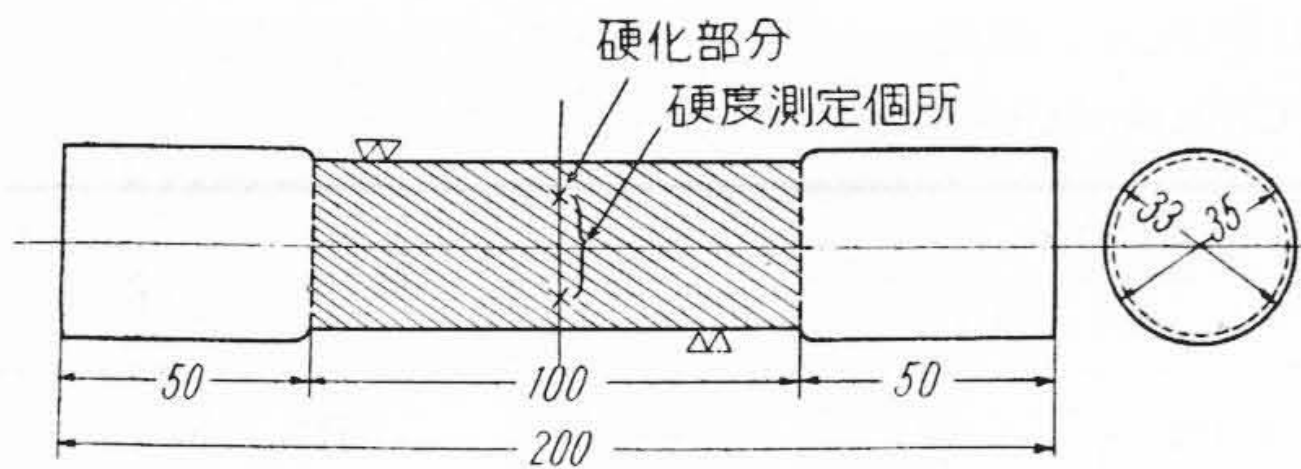
(B) 湿態磨耗

試料はシルジブロンズ, 黒心マレブル, 高カマレブル, 滲炭鋼 (標準材料) であつてそれらの化学成分を第 11 表に示す。高カマレブルは焼入しないものと焼入たものの両試料について試験した。西原式磨耗試験機により湿態の滑り磨耗試験を行つた。試料の寸法および取付方法を第 8 図に示す。各試料 (下部試料) を固定とし, 回転する標準試料 (上部試料) の回転速度は 820 rpm である。荷重は 20 kg, 35 kg, 50 kg の三種類とし, 回転数はそれぞれ 50,000 回, 100,000 回, 200,000 回および 400,000 回とした。試験条件を一定とするためグライン

ダ仕上を行つたものをさらにエメリーペーパーで研磨し, 試験中には一定量の注油を行つた。実験結果は第 9 図, 第 10 図および第 11 図に示すごとくである。

これらの結果より 20 kg のごとき低荷重の場合には各試料とも磨耗量が少くして大差なく, シルジブロンズ, 黒心マレブル, 高カマレブル, 高カマレブル (焼入) の順にわずかながら磨耗量の減少が認められた。荷重が 35 kg あるいは 50 kg に増加するにつれて黒心マレブル,





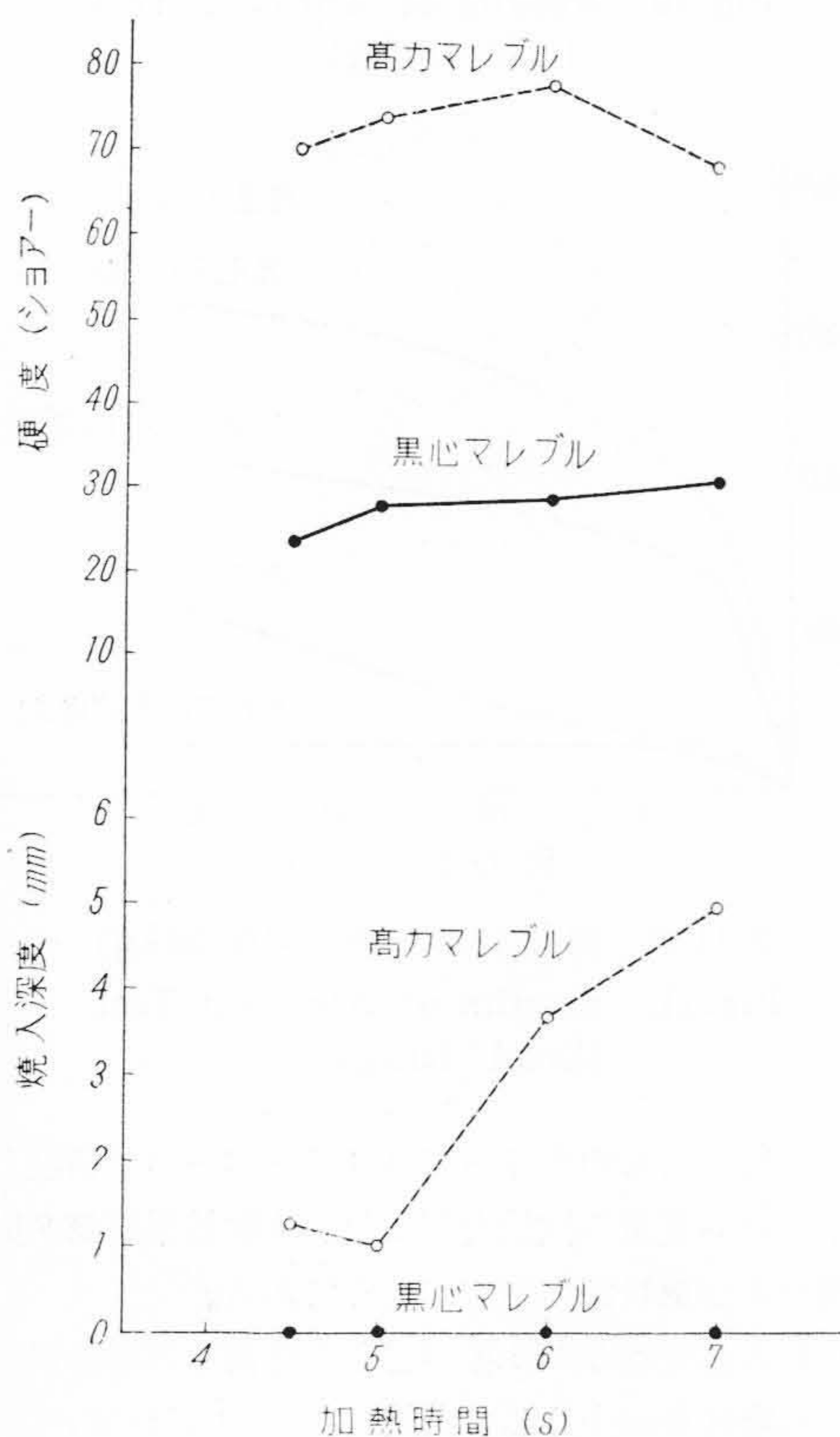
第12図 高周波表面焼入用試片  
Fig. 12. Test Piece for Induction Hardening

第12表 試料の化学成分  
Table 12. Chemical Compositions

試料記号	材質	化学成分 (%)					ブリネル 硬度
		C	Si	Mn	P	S	
BM	黒心マレブル	2.54	1.07	0.32	0.146	0.073	137.0
HM	高力-50	2.32	1.04	0.68	0.154	0.069	228.0

第13表 高周波焼入後の表面硬度および焼入深度  
Table 13. Results of Induction Hardening

試料記号	材質	加熱時間 (CeS)	冷却時間 (CeS)	硬度 (HS)							平均	焼入深度 (mm)
				23.0	23.0	20.5	22.5	24.0	22.5	22.6		
BM-1	黒心マレブル	4.5	5.0	23.0	23.0	20.5	22.5	24.0	22.5	22.6	0	
BM-2	黒心マレブル	5.0	5.5	28.5	28.0	28.0	27.0	28.0	27.5	27.8	0	
BM-3	黒心マレブル	6.0	7.0	30.0	30.0	28.0	28.0	29.0	29.5	29.1	0	
BM-4	黒心マレブル	7.0	8.0	33.0	33.0	30.0	29.5	29.5	28.0	30.5	0	
HM-1	高力マレブル	4.5	5.0	61.0	68.0	67.0	73.0	75.0	70.5	69.8	1.3	
HM-2	高力マレブル	5.0	5.5	75.0	77.0	74.0	74.0	71.0	73.0	74.0	1.0	
HM-3	高力マレブル	6.0	7.0	78.5	76.5	75.5	79.0	81.0	77.0	77.9	3.7	
HM-4	高力マレブル	7.0	8.0	67.0	69.0	68.0	66.0	70.5	76.0	69.4	5.0	



第13図 高周波焼入後の表面硬度および焼入深度  
Fig. 13. Results of Induction Hardening

シルジンプロソズは磨耗が著しくなるが、高力マレブルおよび高力マレブル（焼入）の磨耗量は僅小であり、その特質が確められた。

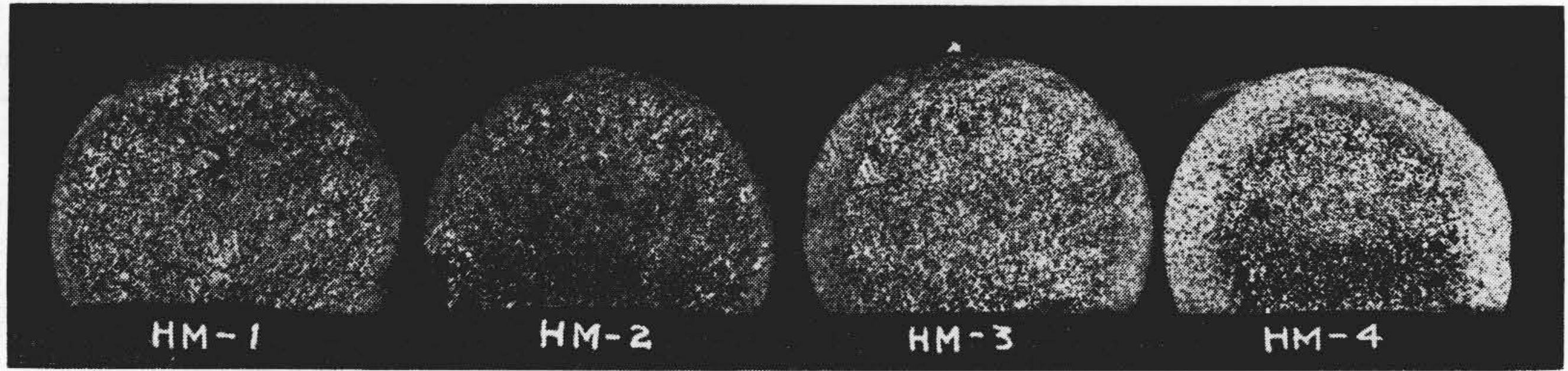
(4) 焼入性

(A) 高周波焼入

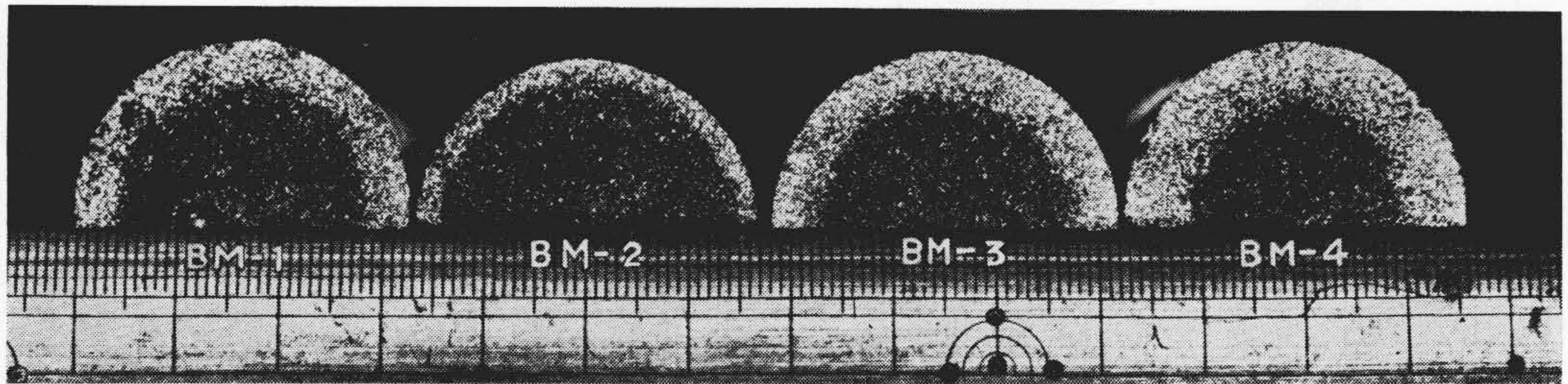
試料は高力-50 および黒心マレブルであつてそれらの化学成分を第12表に示す。試料の寸法は第12図に示すときのものである。焼入を施したのは第12図の斜線部分であつて、加熱時間は5.0秒、5.5秒、7.0秒、8.0秒である。表面硬度と焼入深度を測定した結果を第13表および第13図に示す。高力-50は4.5秒で十分な焼入効果が認められ、表面硬度は高硬度(H<sub>s</sub> 70)に達し焼入深度は約1.0mmであつた。加熱時間の延長とともに硬度と深度が増加するが8秒に到ると硬度はむしろ低下した。黒心マレブルは高力マレブルに比して焼入性悪るきも、表面硬度H<sub>s</sub> 30がえられた。第14図は高力マレブルの焼入後の破面であり、表面部には灰色の緻密な層が現われる。第15図は黒心マレブルであつて光輝ある銀白色の層が現われる。これらの変質層の深さは5.0秒のものをのぞき加熱時間とともに深くなる。

焼入部を鏡見るに、高力マレブルにおいては第16図に示すごとく表面のもつとも硬化した部分はマルテンサイトの基地にテンパーカーボンが散在した組織となるが、テンパーカーボンの周辺には球状パーライトが残留している。深部になるにつれてその基地はマルテンサイトが減り球状パーライトが多くなる。写真の白色部はマ

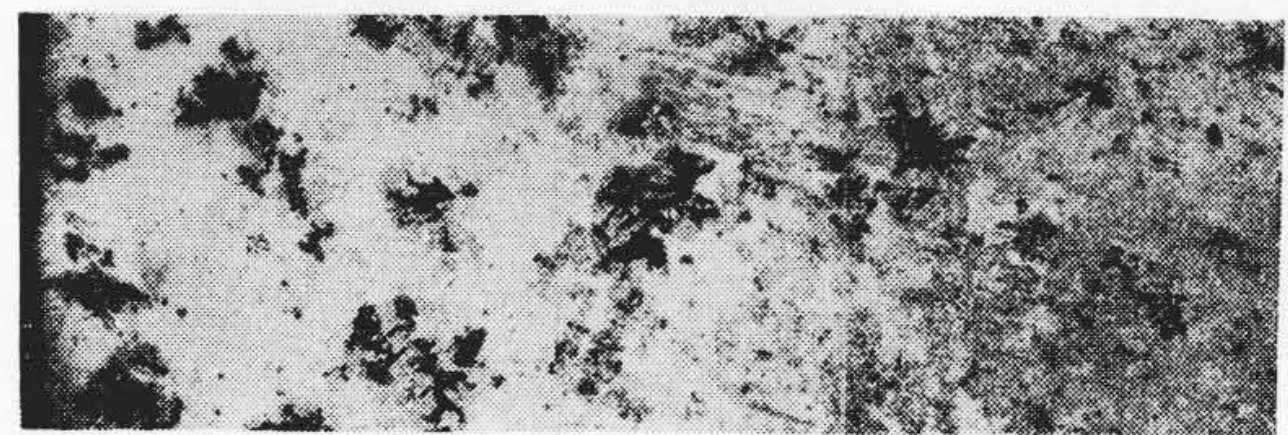




第14図 高力マレブルの高周波焼入後の破面  
Fig. 14. Fractures of High Tension Malleable Iron after Induction Hardening



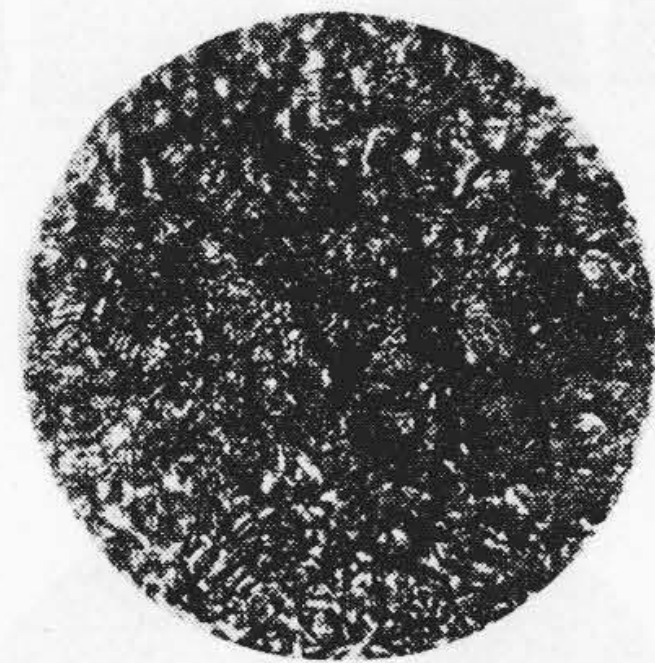
第15図 黒心マレブルの高周波焼入後の破面  
Fig. 15. Fractures of Black Heart Malleable Iron after Induction Hardening



0 0.5 1.0 1.5 2.0  
表面からの距離 (mm)

第16図 高力マレブルの焼入硬化した部分の顕微鏡組織 ×30

Fig. 16. Microscopic Structure of High Tension Malleable Iron after Induction Hardening ×30



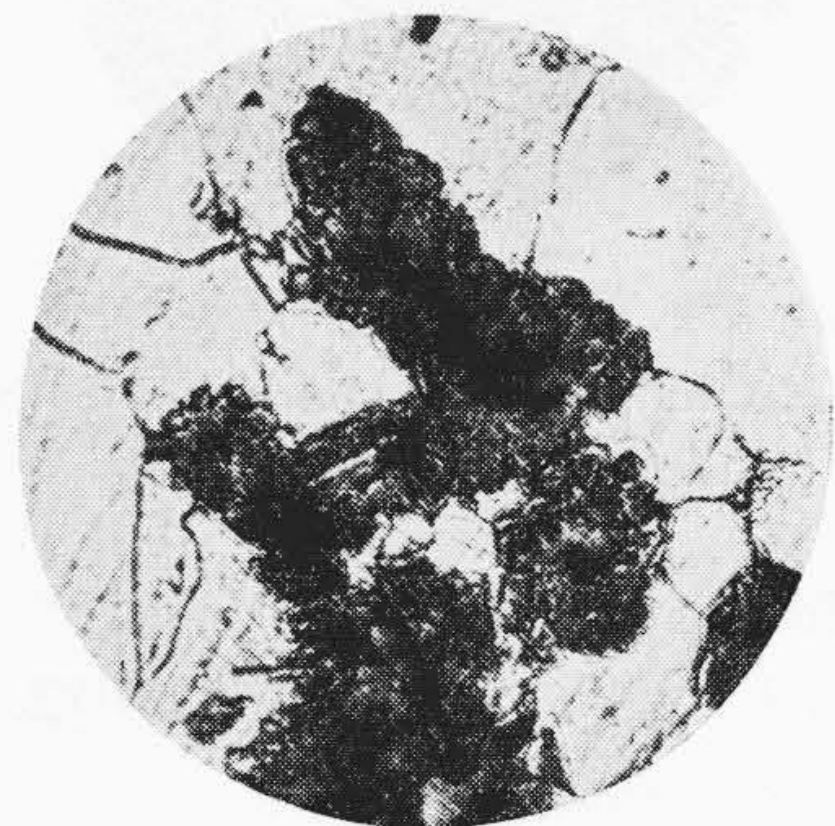
第17図 高力マレブルの焼入組織 ×400

Fig. 17. Quenched Structure of High Tension Malleable Iron ×400

ルテンサイトである。このマルテンサイトの部分を拡大したものが第17図である。黒心マレブルの焼入部は第18図に示したごとくであつて、テンパーカーボンの周辺部のみマルテンサイト組織となり、その他の部分はフェライトとなつている。高周波焼入のごとき急速加熱ではテンパーカーボンの周囲のフェライトのみがオーステナイトに変態し、テンパーカーボンより炭素を吸収し高炭素のオーステナイトとなるから、前記の組織がえられるのである。

(B) 火焰焼入

試料の高力-60の化学成分は第14表(次頁参照)に示す。20mmφの黒皮試験棒より第19図(次頁参照)に示すごと



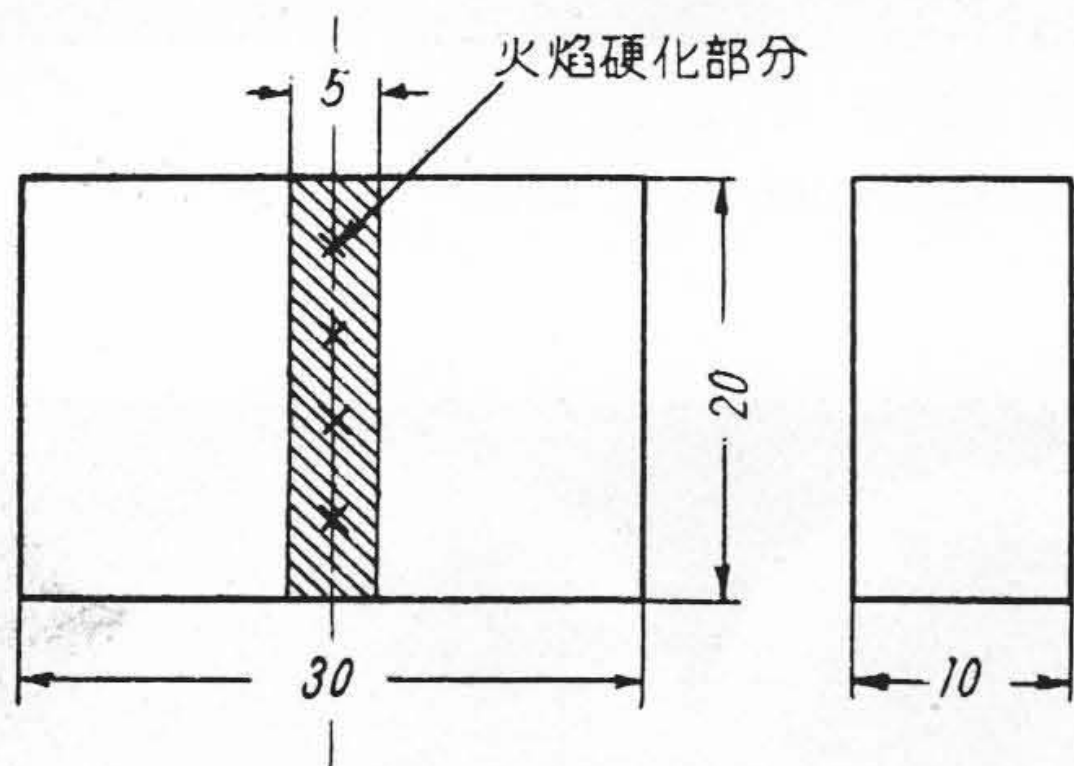
第18図 黒心マレブルの焼入組織 ×400

Fig. 18. Quenched Structure of Black Heart Malleable Iron ×400



第14表 試料の化学成分  
Table 14. Chemical Compositions

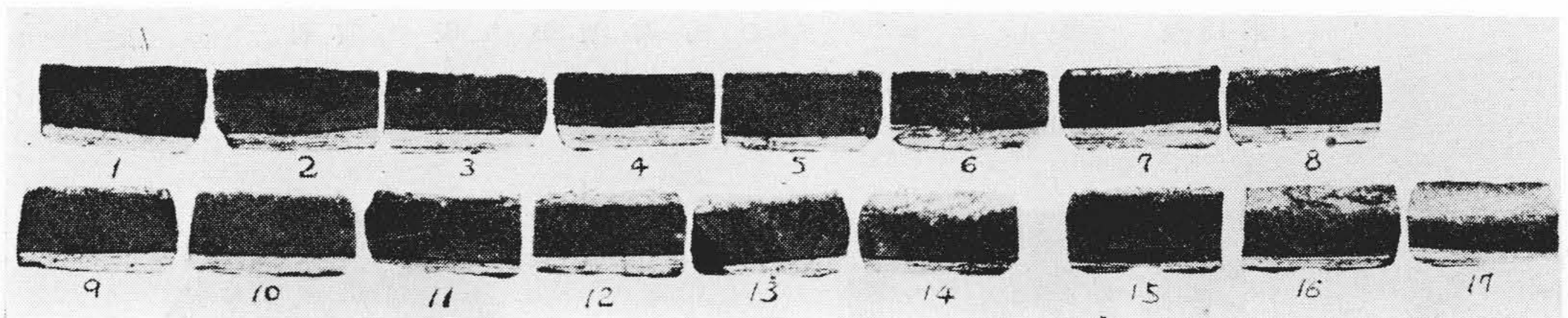
試料記号	材質	化学成分 (%)					ブリネル 硬度
		C	Si	Mn	P	S	
HM	高力-60	2.30	1.12	0.94	0.142	0.073	255



第19図 火焰硬化試験片  
Fig. 19. Test Piece for Flame Hardening

第15表 火焰硬化後の表面硬度  
Table 15. Hardness after Flame Hardening

試料番 号	バーナー の口径 (mm)	加熱時間 (s)	硬 度 (Rc)				平均
1	1.0	10	27.0	25.5	29.5	26.5	27.1
2	1.0	14	32.0	30.5	26.0	29.5	29.5
3	1.0	15	26.0	24.5	25.0	26.5	25.5
4	1.0	15	32.0	30.5	26.0	29.5	29.5
5	1.0	19	53.0	59.5	55.0	56.5	56.0
6	1.0	19	59.0	62.0	62.5	65.0	62.1
7	1.0	20	62.0	64.0	62.0	69.0	64.3
8	1.0	25	65.0	65.0	63.0	65.0	64.5
9	1.8	5	62.0	60.0	63.0	61.5	61.6
10	1.8	8	65.0	60.0	58.0	61.5	61.1
11	1.8	10.5	57.8	54.0	49.0	58.0	54.7
12	1.8	14	58.0	60.0	52.0	65.0	58.8
13	1.8	15	59.0	61.0	59.0	64.0	60.8
14	1.8	20	45.0	56.0	49.0	51.0	50.3
15	3.2	5	25.0	59.9	65.0	64.5	53.6
16	3.2	8	55.0	57.5	55.0	61.0	57.1
17	3.2	9	28.5	62.0	66.0	65.0	55.4



第20図 火焰硬化後の破面  
Fig. 20. Fractures after Flame Hardening



第21図 試料 No.14 火焰硬化部分組織 ×400  
Fig. 21. Quenched Structure of No. 14 After Flame Hardening

き試料を切出し、その 30×20mm の面を約 10mm 水中に浸漬し、水面より約 5mm の部分(第19図において斜線を施した部分)を酸素-アセチレンバーナを用いて加熱した。所定の時間加熱後ただちに試料を水中に落下冷却した。バーナの口径は 1.0mm, 1.8mm, 3.2mm の三種類を使用し、その口径の影響をも求めた。焼入後の

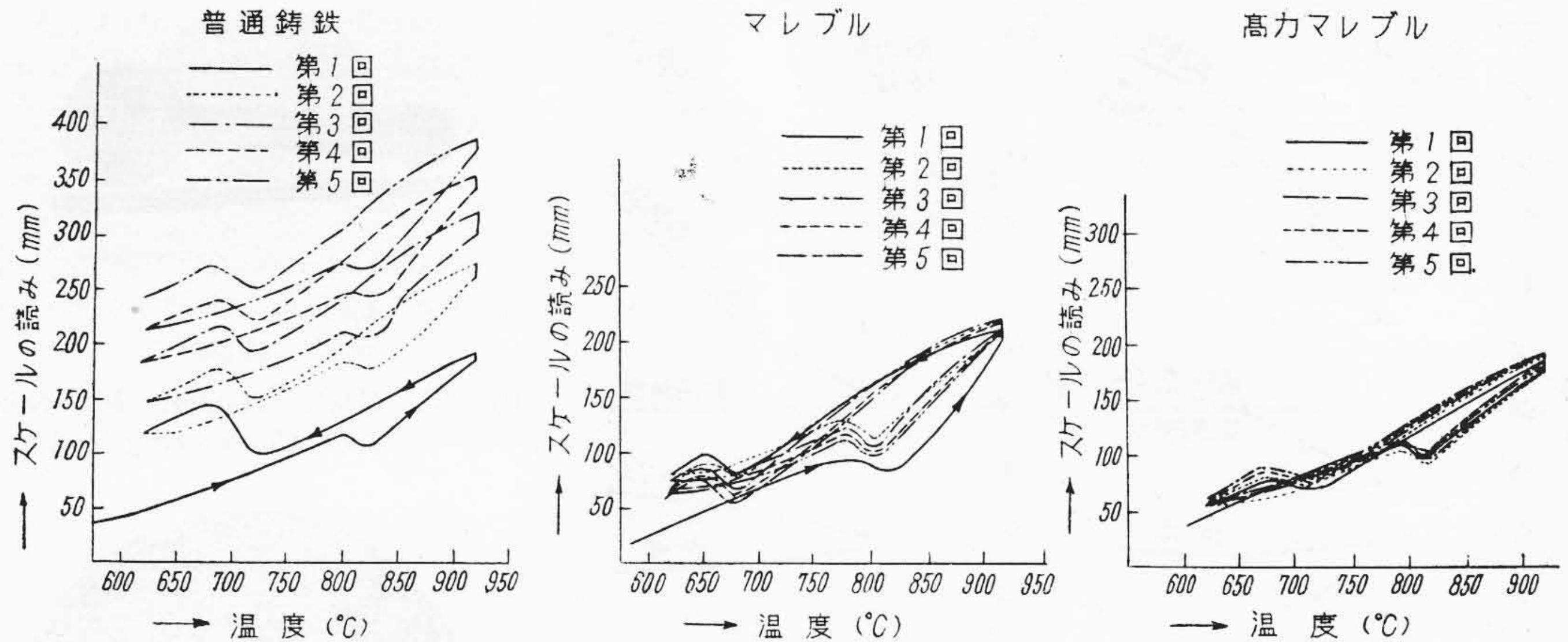
硬度を第15表に示す。口径 1.0mm のバーナを使用する場合は加熱時間は 19 秒で、1.8mm 以上のバーナを使用する場合は約 5 秒にて十分であり、表面硬度は  $H_R 60$  に達した。バーナの口径は 1.8mm のものが適当であり、1.0mm のものは加熱に長時間を要し 3.2mm のものは焼入部の硬度の不均一を生じやすい。焼入部の破面を第20図に示す。白色部は焼入硬化した部分で高周波焼入と同様に灰色の緻密な層となる。組織を鏡見るに、高周波焼入の場合と同様に変質層の境界附近から球状セメントライトは減少し始めマルテンサイトが現れる。試料 No. 14 のごとく火焰による加熱が著しい場合は第21図に示すごとく粗大なマルテンサイトが現われる。この火焰硬化により現われるマルテンサイトは加熱時間が長いので高周波の場合に比し粗大となる傾向がある。

(5) 繰返し加熱における成長 (耐熱性)

高力マレブルは往々内燃機関のごとくかなりの高温で使用されることがあるので熱間における成長を調べた。

試料は普通鉄、黒心マレブル、高力マレブルの三種である。それらの化学成分は第16表のごとくである。試





第22図 繰返加熱による各種鑄鉄の生長曲線  
Fig. 22. Growth of Specimens by Repeated Heating

第16表 試料の化学成分  
Table 16. Chemical Compositions

試料記号	材質	化学成分 (%)				
		C	Si	Mn	P	S
C.I	普通鑄鉄	3.55	1.43	0.74	0.138	0.078
B.M	黒心マレブル	2.60	1.00	0.35	0.120	0.080
H.M	高カマレブル	2.45	1.01	1.05	0.131	0.082

第18表 試料の化学成分  
Table 18. Chemical Compositions

試料記号	材質	化学成分 (%)					ブリネル 硬度
		C	Si	Mn	P	S	
CI	鑄鉄	3.43	1.67	0.67	0.310	0.052	160
CS	鑄鋼	0.13	0.37	0.47	0.030	0.010	126
BM(a)	黒心マレブル	2.54	1.07	0.32	0.146	0.073	137
BM(b)	黒心マレブル	2.78	1.07	0.32	0.146	0.073	126
HM	高カマレブル	2.32	1.04	0.68	0.154	0.069	228

第17表 繰返加熱による試料の生長量  
Table 17. Growth of Specimen after Repeated Heating

試料記号	材質	第1回		第2回以後		第1回～第5回 総生長量 (%)
		スケールの読みの差	生長量 (%)	スケールの読みの差	生長量 (%)	
C.I	普通鑄鉄	71	0.331	124	0.578	0.919
B.M	黒心マレブル	45	0.210	-20	-0.094	0.116
H.M	高カマレブル	2	0.009	14	0.063	0.072

第19表 被削性の実験結果  
Table 19. Results of Machinability Test

試料記号	回転数 荷重 材質	被削性 % (鑄鉄の被削性を100%とした場合)				
		200 rpm		300 rpm		400 rpm
		9.5 kg	8.5 kg	9.5 kg	9.5 kg	
CI	鑄鉄	100.0	100.0	100.0	100.0	
CS	鑄鋼	51.5	54.8	51.0	40.2	
BM(a)	黒心マレブル	174.0	137.0	174.0	141.0	
BM(b)	黒心マレブル	134.5	181.0	134.5	167.0	
HM	高カマレブル	66.2	96.5	66.2	89.4	

料の寸法は 10 mmφ、長さ 75 mm であり、本多式熱膨脹計を用いて 620~920°C における繰返し加熱による成長を測定し三者の比較を行つた。加熱および冷却の速度はいずれも 5°/min である。第17表および第22図は実験の結果であつて普通鑄鉄、黒心マレブルの順に成長量は少い。高カマレブルが最も良好である理由は組織が緻密であり、テンパーカーボンの量が少いこと、およびマンガンを多く含んでいるためである。

(6) 切削性

試料は普通鑄鉄、鑄鋼、黒心マレブル、高カマレブルであつてそれらの化学成分を第18表に示す。切削試料の寸法は 200×100×35 mm である。実験方法は普通鑄鉄を切削性の標準試料としボール盤の回転数ならびにハンドレバーにかかる荷重を一定とし、まず鑄鉄試料を一定

の深さまで穿孔する。その所要時間を  $t_1$  s とする。つぎのドリルの刃を研ぎ直すことなく、他の試料について同一条件で同一の深さまで穿孔するに要する時間  $t$  s を測定する。最後に同一のドリルを用いて再び鑄鉄について最初と同様な時間  $t_2$  s を測定する。

鑄鉄を一定深さまで穿孔するに要する時間：

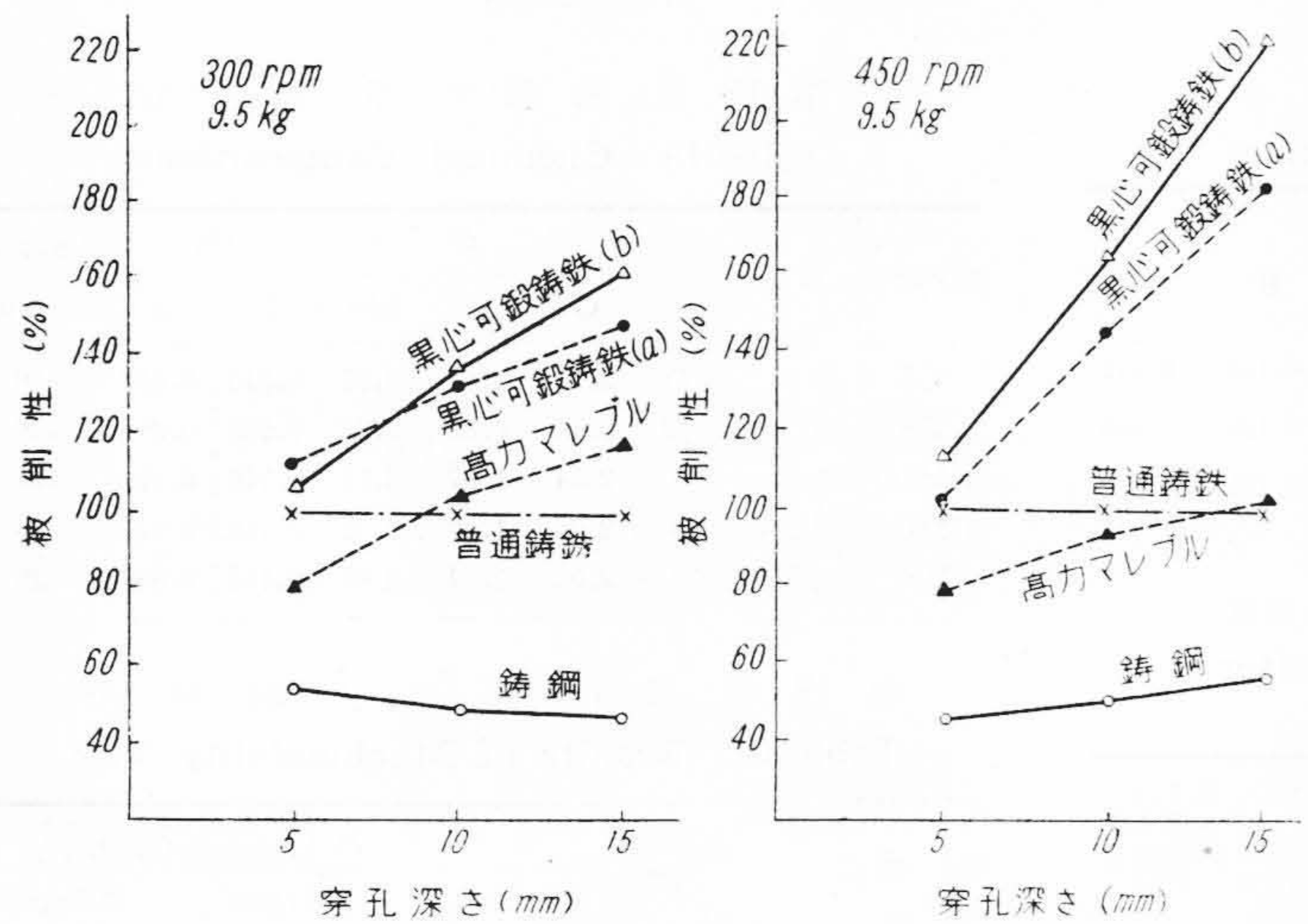
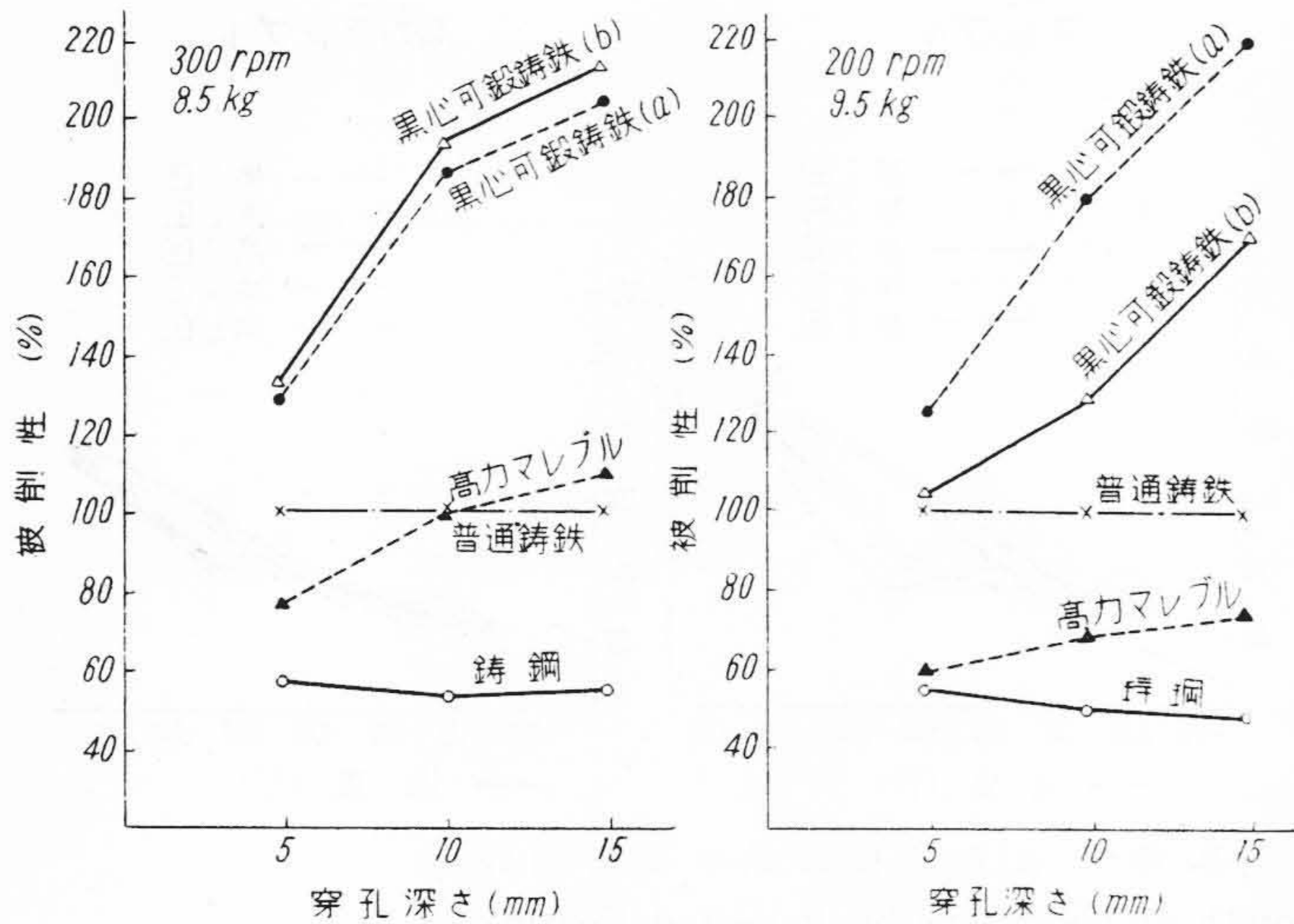
$$T = \frac{t_1 + t_2}{2} \text{ s}$$

試料を一定深さまで穿孔するに要する時間： $t$  s

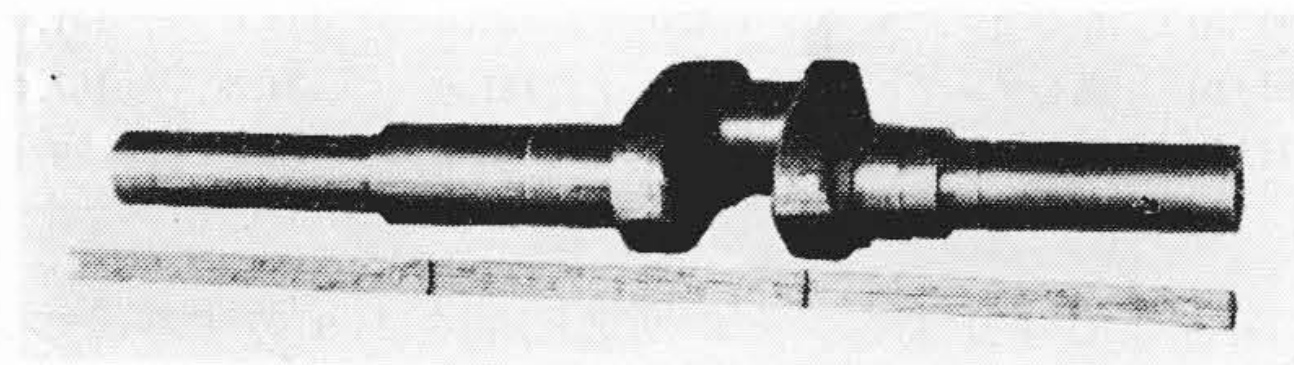
故に鑄鉄を一定深さまで穿孔するに要する回転数：

$$N = \frac{\text{ドリルの回転数 (rpm)}}{60} \times T$$





第23図 被削性の実験結果  
Fig. 23. Results of Machinability Test



第24図 高力マレブル製クランクシャフト  
Fig. 24. High Tension Malleable Iron Crank Shaft

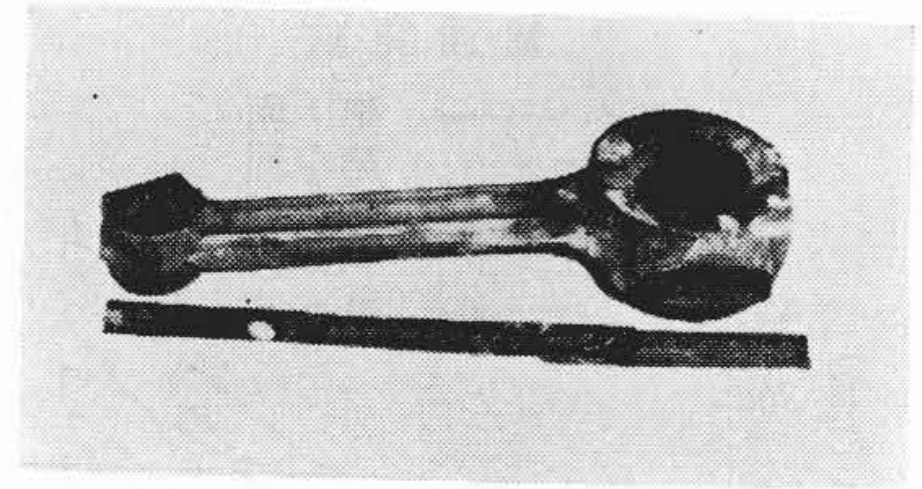
試料を一定深さまで穿孔するに要する回転数:

$$n = \frac{\text{ドリルの回転数(rpm)}}{60} \times t$$

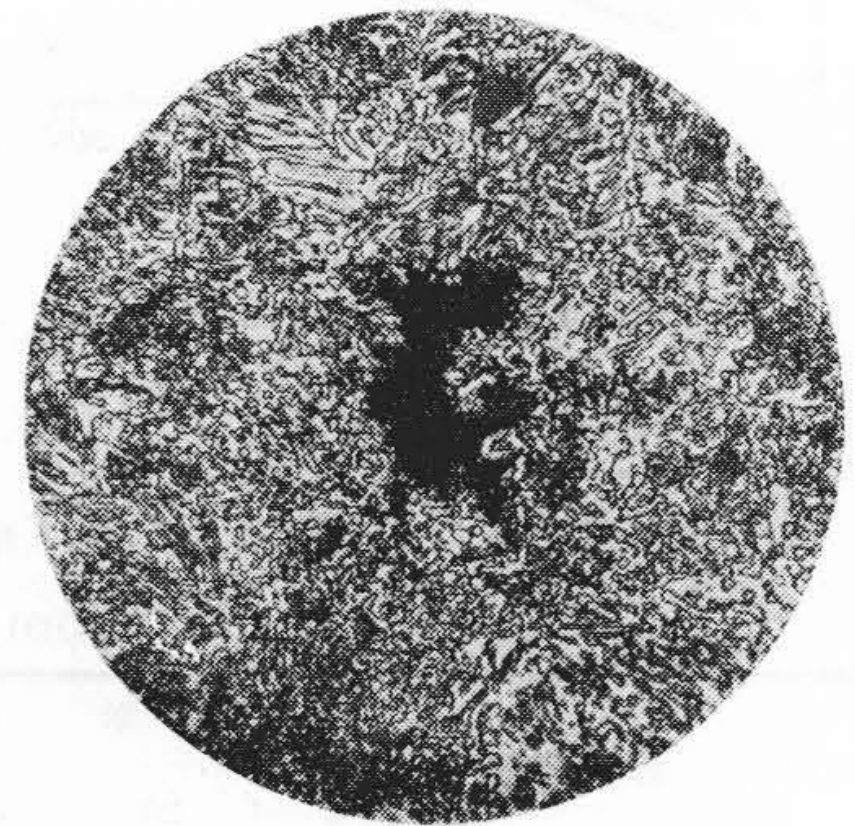
普通鑄鉄の切削性を100%とした場合の試料の切削性を次式により算出した。

$$\text{切削性(\%)} = \frac{n}{N} \times 100(\%)$$

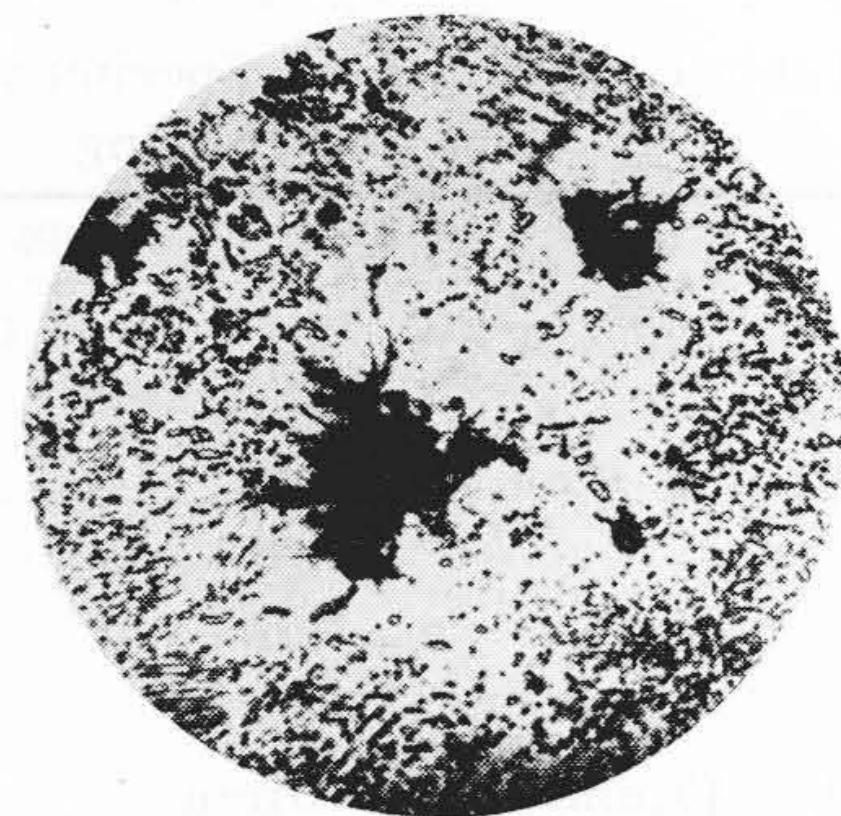
実験条件はドリルの回転数 200 rpm, 荷重 9.5 kg の



第25図 高力マレブル製コネクティングロッド(粗材)  
Fig. 25. High Tension Malleable Iron Connecting Rod



第26図 クランクシャフトの顕微鏡組織 ×400  
Fig. 26. Microscopic Structure of High Tension Malleable Iron Crank Shaft ×400



第27図 米国製ピストン顕微鏡組織 ×400  
Fig. 27. Microscopic Structure of Diesel Engine Piston Made in U.S.A. ×400

場合, ドリルの回転数 300 rpm, 荷重 8.5 kg の場合, ドリルの回転数 300 rpm, 荷重 9.5 kg の場合, ドリルの回転数 450 rpm, 荷重 9.5 kg の場合の4種である。また穿孔深さは5 mm, 10 mm, 15 mm の3種類とした。実験結果は第23図に示したごとくである。これを取り纏めると第19表(前頁参照)のごとくなる。これらの結果より黒心マレブルは最も良好な切削性を示し, 高力マレブルは硬度が高いにもかかわらず軟質の鑄鋼よりはるかに良好な切削性を示した。



第 20 表 化 学 成 分 (%)  
Table 20. Chemical Compositions

名 称	C	Si	Mn	P	S
クランクシャフト	2.30	1.10	0.94	0.142	0.073
コネクティングロッド	2.34	1.26	1.14	0.142	0.071

第 21 表 材 料 試 験 結 果  
Table 21. Mechanical Properties

名 称	種 別	抗 張 力 (kg/mm <sup>2</sup> )	延 伸 率 (%)	ブリネル 硬 度		
クランク シャフト	黒皮試験片	60.8	2.5	262		
		59.4	3.5	255		
		60.4	3.0	255		
		63.1	3.0	248		
	切削した試験片	60.8	2.5	241		
		66.9	3.0	248		
		64.4	2.0	255		
		69.5	3.0	255		
		66.3	3.0	255		
		75.4	3.0	255		
		71.5	3.0	255		
		71.5	3.0	255		
		コネクチ ン グ ロ ッ ド	黒皮試験片	56.4	3.0	241
				57.0	3.0	241
61.4	3.0			241		
63.7	3.0			241		
61.2	3.0			241		
切削した試験片	54.4		2.0	241		
		71.0	3.0	241		
		68.6	2.5	248		

〔IV〕 高力マレブルの実用例

高力マレブルの特質を適所に応用し各種部品を製造した事例が多い。以下にその代表的な例を二三紹介する。

(1) 農務用クランクシャフト

高力マレブルは抗張力、降伏点が高く、高硬度で耐磨耗性があり疲労限も高いので、米国では製造クランクシャフトおよびコネクティングロッドは一般的なものになっている。その材質は高力-60 が指定される。製品は第24図および第25図に示すごとくである。第20表はその白銑時の化学成分である。第26図は熱処理後の組織であつてきわめて緻密な球状パーライトであり、黒鉛が球状を呈していることと基地が緻密な球状パーライトであることが綜合して強力な材質をうる素因となる。製品と同一工程で作った抗張試験片を試験した結果は第21表のごとくである。黒皮とあるは黒皮の JES 第4号試験片であり、切削試験とあるは 20mmφ 丸棒より JES 第4号試験片を切出した試験片である。試験結果は目標に合致しており、均一性もまた良好である。

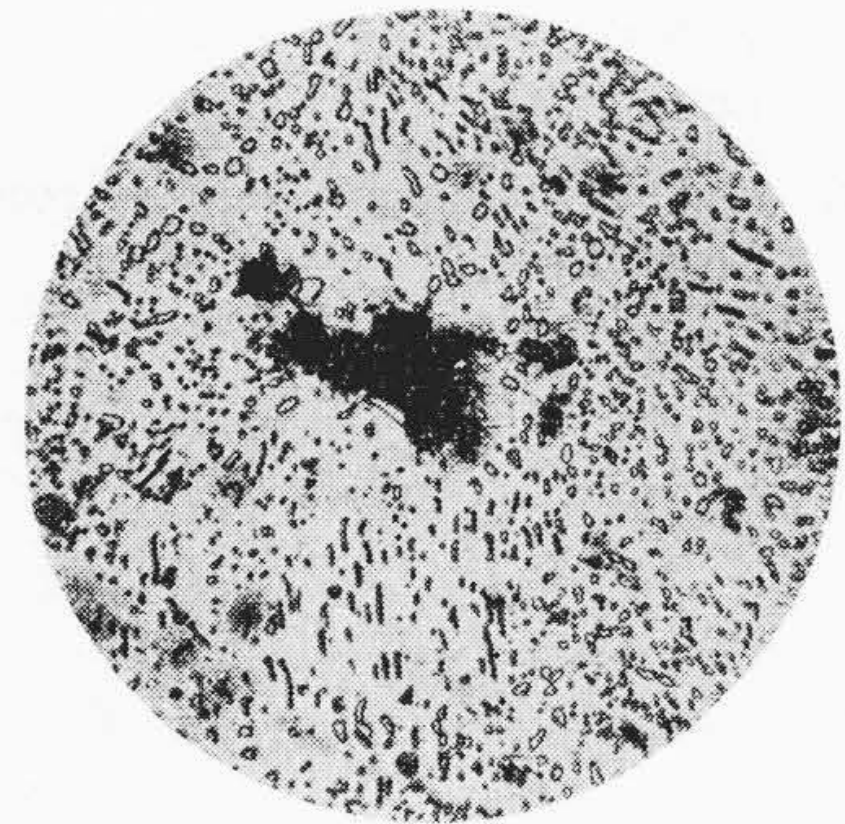
第 22 表 ディーゼルエンジンピストン化学成分 (%)

Table 22. Chemical Composition of Diesel Engine Piston

熔解番号	C	Si	Mn	P	S
830	2.52	1.07	0.55	0.147	0.071
804	2.60	1.03	0.60	0.145	0.074
805	2.44	1.01	0.51	0.137	0.069

第 23 表 材 料 試 験 結 果  
Table 23. Mechanical Properties

熔 解 番 号	抗 張 力 (kg/mm <sup>2</sup> )	延 伸 率 (%)	ブリネル 硬 度
830	46.3	5.0	166
804	46.6	6.0	163
	47.6	6.5	163
805	45.8	8.0	161
	45.9	8.0	161



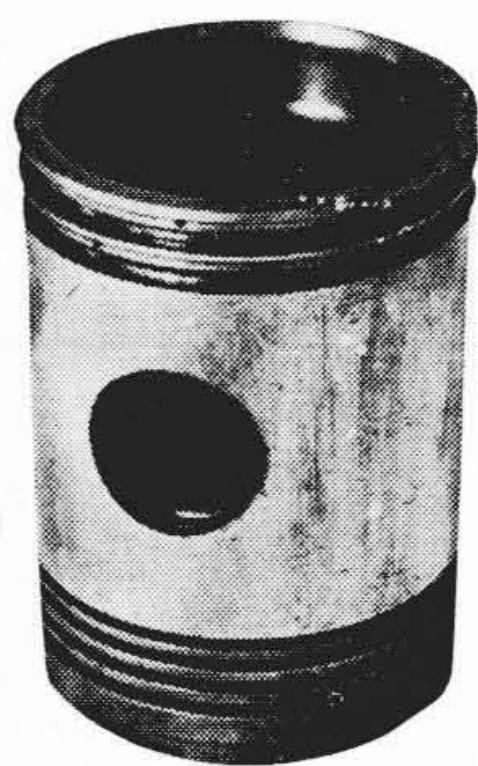
第 28 図 戸畑工場製ピストン顕微鏡組織 ×400  
Fig. 28. Microscopic Structure of High Tension Malleable Iron Diesel Engine Piston

(2) ディーゼルエンジンのピストン

米国 LST 型貨物船に搭載されている救命艇 (LCVP) のディーゼルエンジンが某社において解体修理されたことがあつた。そのピストンの材質を調査したところ高力マレブル製であつた。その修理補充品として日立製作所戸畑工場で米国製と同質の高力マレブル製ピストンを製造した。

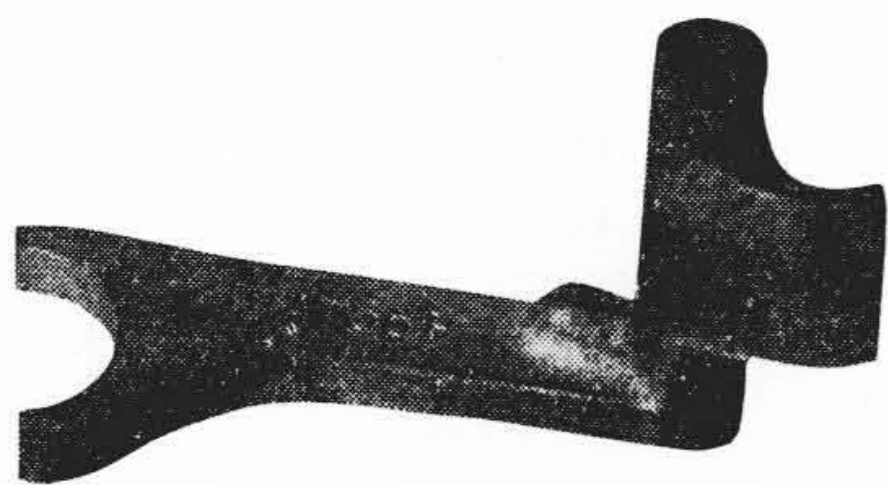
このピストンは高力-45 であつて、強度的には製造容易であるが、高圧の気圧試験に合格することを要するから鑄巣のない健全な鑄物でなくてはならない。高力-45 の場合はマンガン を 0.5~0.7% 含有せしめる。米国製ピストンの組織は第27図に示すごとくのものであり、日立製作所戸畑工場製のものは第22表に示した化学成分を有し、熱処理後の組織は第28図に示したごとくのものである。材料試験の結果は第23表に示すごとくであり均一性





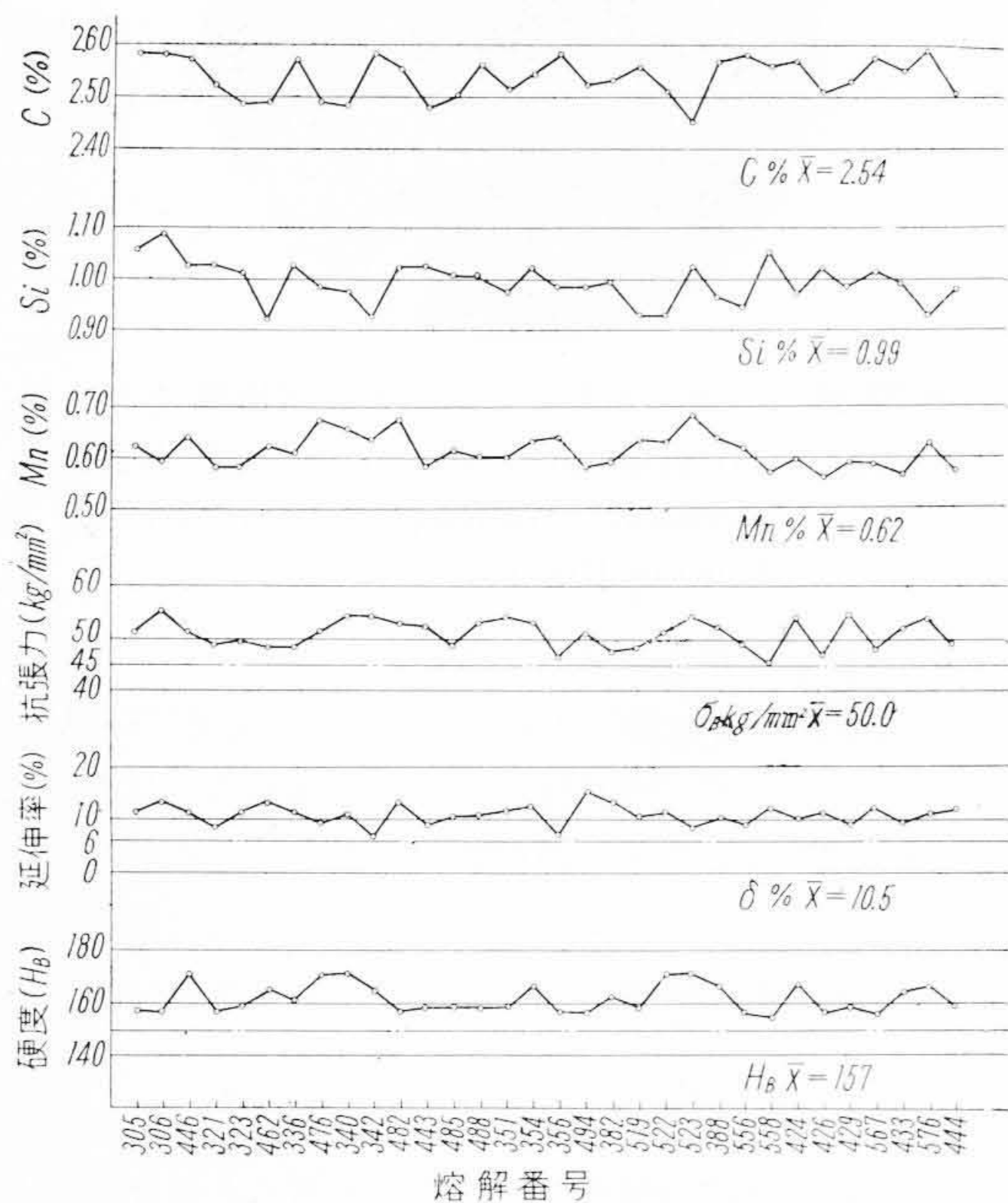
第29図 船用ディーゼルエンジンの高力マレブル製ピストン

Fig. 29. High Tension Malleable Iron Piston



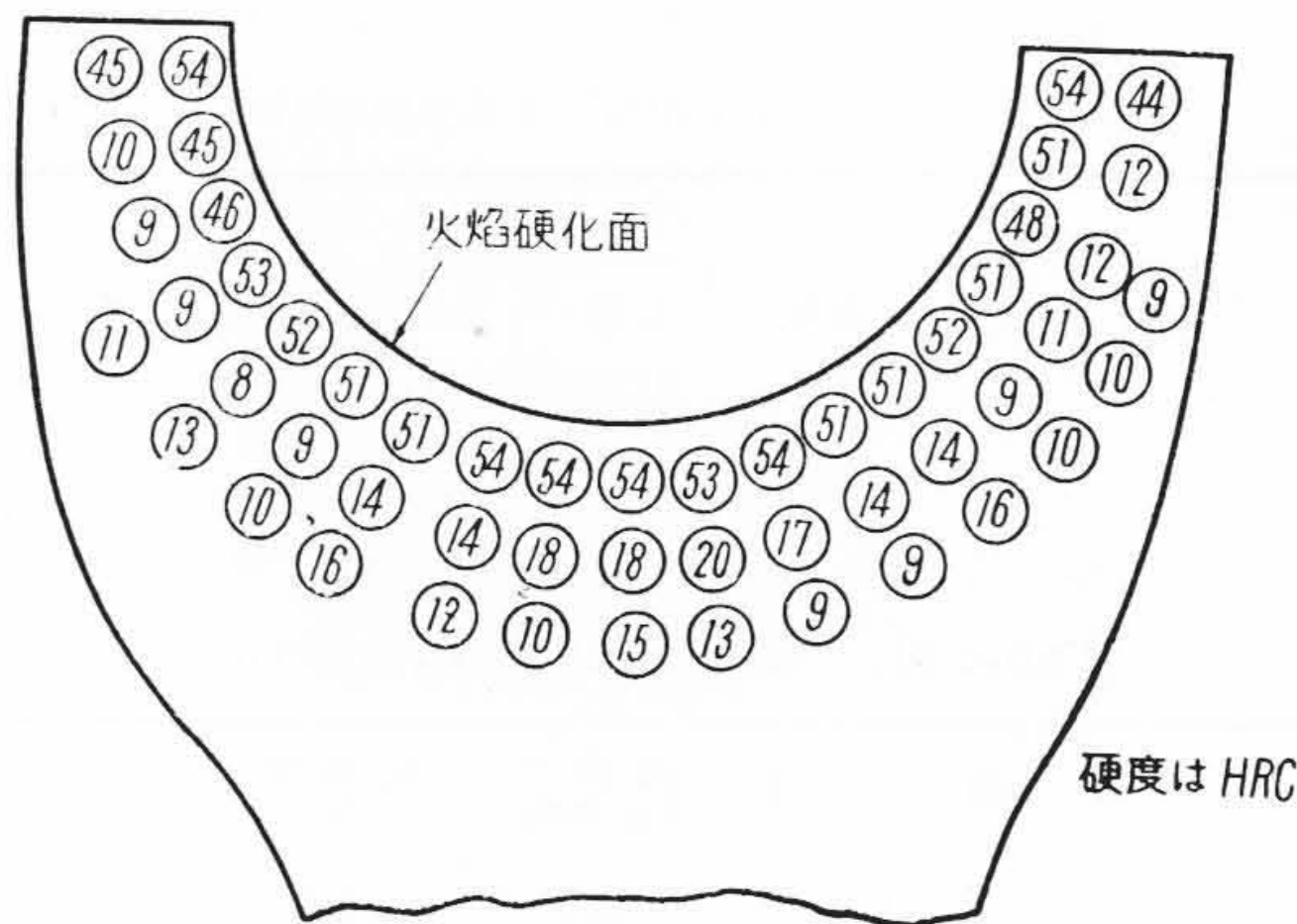
第30図 高力マレブル製ギヤシフトフォーク(粗材)

Fig. 30. High Tension Malleable Iron Gear Shift Fork



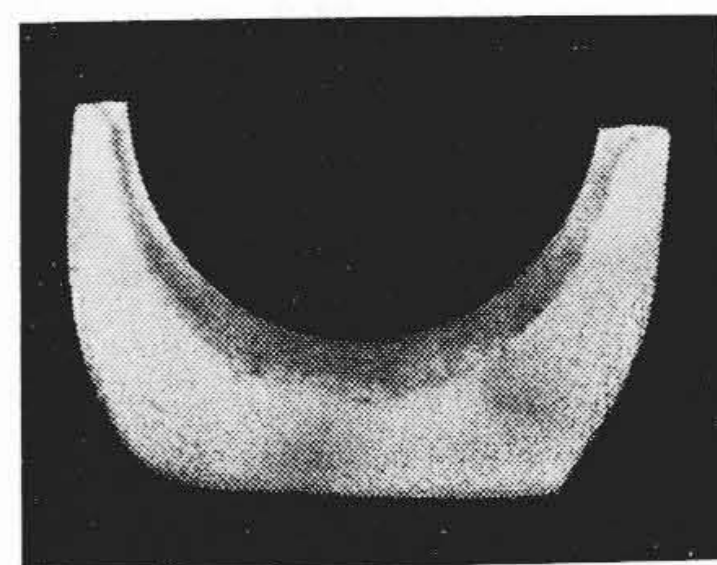
第31図 ギヤシフトフォークの品質管理図  
Fig. 31. Quality Control Chart of Gear Shift Fork

も良好であつた。第29図は製品の写真である。このピストン以外の種々のピストンがあるが、その例示は省略する。



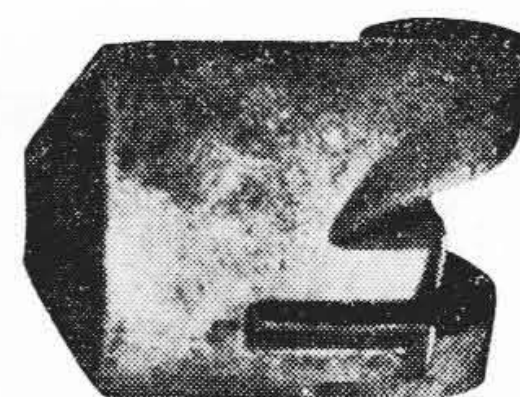
第32図 ギヤシフトフォーク硬度分布図火焰硬化後

Fig. 32. Hardness Distribution of Gear Shift Fork after Flame Hardening



第33図 ギヤシフトフォーク火焰硬化部のマクロ組織

Fig. 33. Macrostructure of High Tension Malleable Iron Gear Shift Fork after Flame Hardening



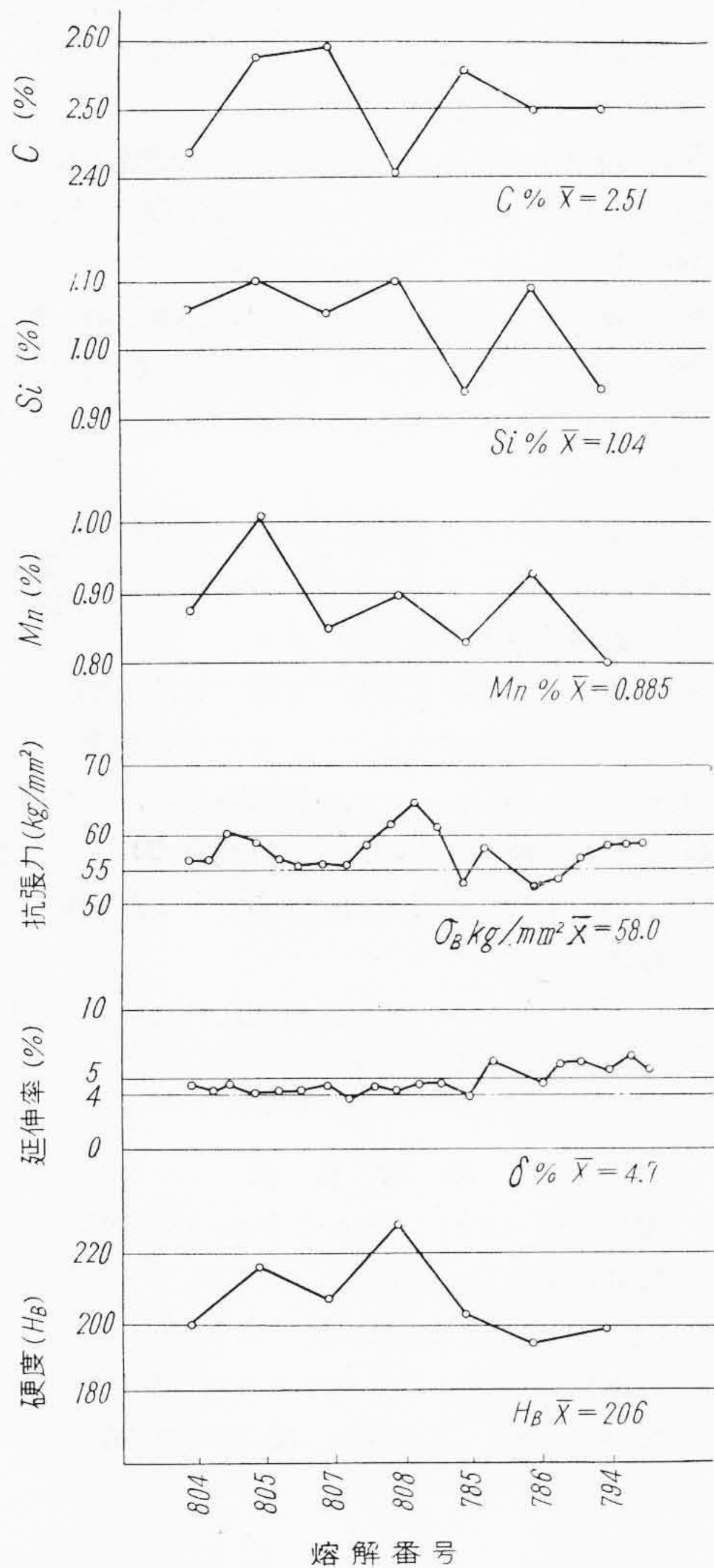
第34図 高力マレブル製スピンドルジョー(粗材)

Fig. 34. High Tension Malleable Iron Spindle Jaw

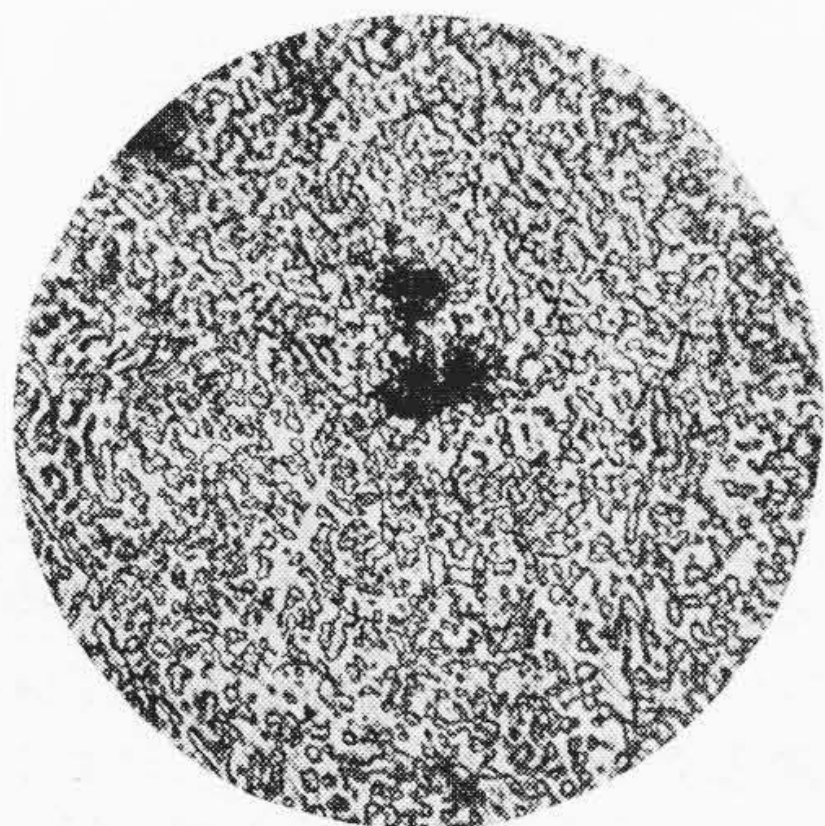
### (3) ギヤシフトフォーク

ギヤシフトフォークは黒心マレブルを使用し磨耗する二又部分のみ局部焼入を施して使用されることがあるが、高力マレブルは黒心マレブルに比して局部焼入性が良好であるからギヤシフトフォークとして用いられる。第30図は製品である。この部品は耐摩耗性と同時に衝撃荷重をも考慮して高力-45にて製作し良結果をえた。第31図は機械的性質および化学成分の管理図の一部を示したもので製品の良好な均一性を示している。第32図は製品の二又部分に火焰焼入を施した際の硬度分布を示し、第33図はそのマクロ写真を示す。

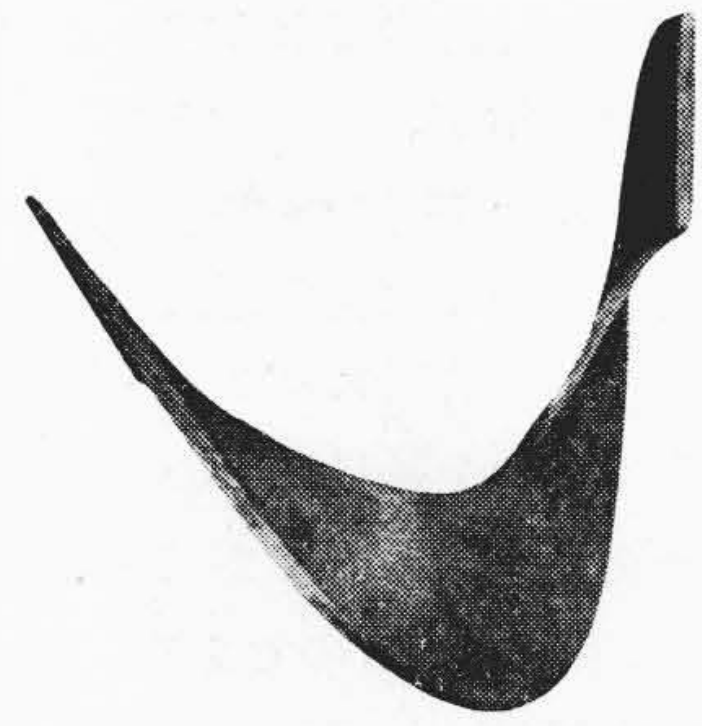




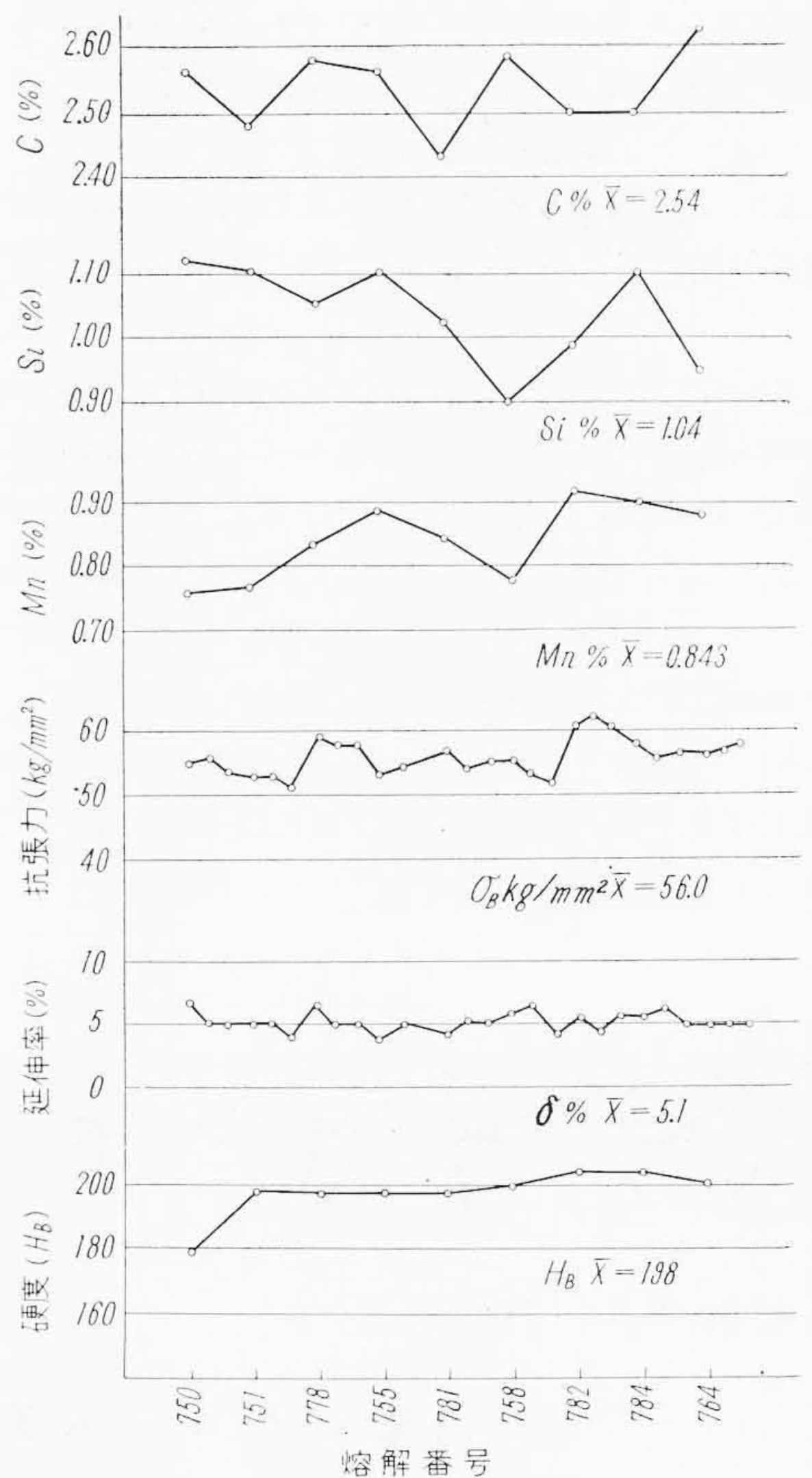
第35図 スピンドルジョーの品質管理図  
Fig. 35. Quality Control Chart of Spindle Jaw



第36図 スピンドルジョーの顕微鏡組織 ×400  
Fig. 36. Microscopic Structure of High Tension Malleable Iron Spindle Jaw ×400



第37図 高力マレブル製スクリーコンベヤー部品  
Fig. 37. High Tension Malleable Iron Screw Conveyor Part



第38図 スクリーコンベヤーの品質管理図  
Fig. 38. Quality Control Chart of Screw Conveyor

(4) スピンドルジョー

スピンドルジョーとは電球製造用の金物でその材質は相当の強度と耐熱性が必要である。従来鍛造品であつたものを高力-55で代替製造した。実物写真は第34図に示すごときのものである。化学成分、機械的性質の管理図を



示せば第35図(前頁参照)のごとくである。製品の組織は第36図(前頁参照)に示す。

#### (5) スクリューコンベヤ

セメント工場において材料の運搬にスクリューコンベヤが多数使用される。普通スクリューは軟鋼板製であり磨耗が多い。その寿命を延長せしめるため高力マレブル製のスクリューを製造したことがある。製品は第37図(前頁参照)に示すごときのものである。指定強度は高力-50である。第38図(前頁参照)は製造時の化学成分および材料試験成績の管理図を示したものである。

### [V] 結 言

高力マレブルの金属材料としての諸性質を述べ実際製品に応用した例を述べた。高力マレブルの材料としての特長を研究結果より要約し列記すればつぎのごとくである。

(1) 高力マレブルは鑄鉄でありながら  $45 \sim 70 \text{ kg/mm}^2$  の高抗張力を有し、延伸率も  $3 \sim 6\%$  の韌性がある。

(2) 高力マレブルの降伏比は約  $73\%$ 、弾性限は  $18,000 \text{ kg/mm}^2$  であり、黒心マレブル ( $20 \text{ mm}\phi$  黒皮試験棒を  $14 \text{ mm}\phi$  に仕上げたもの) と大差はない。

(3) 高力マレブルの疲労限は抗張力が  $60 \text{ kg/mm}^2$  のもので  $21 \text{ kg/mm}^2$ 、抗張力  $50 \text{ kg/mm}^2$  のもので  $19 \text{ kg/mm}^2$  あり、特種用途に対し有能な材料である。

(4) 高力マレブルの耐摩耗性は乾態において、相対、相互いずれの場合も黒心マレブルに比し低荷重下では大差なく、高荷重下ではまさっている。湿態においても低

荷重下では黒心マレブルと大差なく、高荷重下では高力マレブルがまさる。焼入れた高力マレブルはきわめて良好である。

(5) 高力マレブルは高周波焼入、火焰焼入などの局部焼入法を容易に施しやすく、えられる硬度は高い値 ( $H_s 60$ ) を示す。

(6) 高力マレブルの切削性はその硬度が他の鑄鉄に比し高い ( $H_B 160 \sim 250$ ) にもかかわらずすぐれている。また黒心マレブルには劣るが、鑄鋼に比しはるかに良好である。

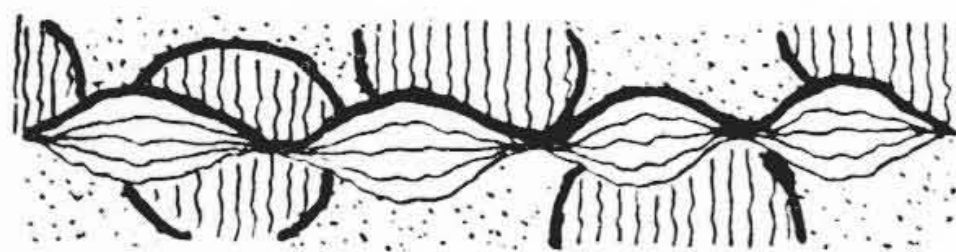
(7) 高力マレブルを繰返し加熱した際の成長ははなはだ少く、黒心マレブルの約  $\frac{1}{2}$ 、普通鑄鉄の約  $\frac{1}{12}$  であるから、耐熱性の用途にも当てうる。

(8) 種々の特長を生かして実際に製品を製造し実地に使用した結果も良好であつた。またその製造方法も比較的簡単であるから、いずれの種類のもの、たとえば高力-45のごとき軟質のものあるいは高力-60のごとき硬質のものいずれにしても均一性あるものが量産しうることを確めた。

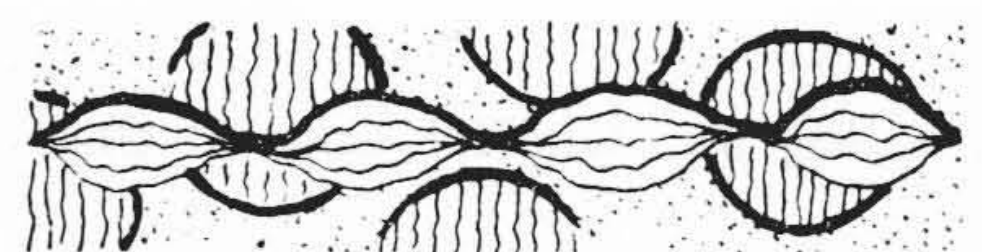
終りに臨み実験の遂行に協力をえた日立製作所戸畑工場研究室の各位に対し深謝申上げる。

#### 参 考 文 献

- (1) Allen G. Gray: Steel, Jan. 10, 1955
- (2) Malleable Handbook: A.F.A.
- (3) Cast Metal Handbook: A.F.A.
- (4) 内藤: 鑄物第7巻, 第4号 (昭 12-4)
- (5) 塩谷, 牧野: 日立評論 33, 9 (昭 26)



### 特 許 の 紹 介



特許第204567号

小柴定雄・西沼輝美

### 高炭素高クローム系磁石鋼の焼入予備処理方法

この発明は磁氣的に良好でかつ被加工性大なる磁石鋼をえるために炭素  $1.1 \sim 1.5\%$ 、クローム  $4.5 \sim 8.0\%$  を含有する高炭素高クローム系磁石鋼を焼入前に  $1,100 \sim 1,200^\circ\text{C}$  の高温に  $1 \sim 5$  分間加熱後たとえば  $550 \sim 700^\circ\text{C}$  の温度に保つた鉛浴槽、塩浴槽あるいは電気炉に投入し恒温変態させて空冷するものである。高炭素高クローム系磁石鋼を  $1,100 \sim 1,200^\circ\text{C}$  に加熱するとクローム炭化物がオーステナイト地に固溶するが、このオーステナイトを  $550 \sim 700^\circ\text{C}$  にて恒温変態させると微粒のクローム炭化物が析出し、この析出したクローム炭化物が磁氣的

に良好な影響を与える。また上記オーステナイトの恒温変態によりオーステナイトはソルバイトないしパーライトとなるために被加工性を増加させ、したがってつぎの焼入段階において徐々に加熱してオーステナイトを完全に分解させる必要がなく、また中間焼鈍を行う必要もなくなる。クローム炭化物のオーステナイト地への固溶量は主として焼入予備処理温度によつて定まるから  $1 \sim 5$  分の加熱保持で十分で、それ以上加熱時間を長くすると脱炭などを起してかえつて有害である。(高野)