

日立高力可鍛鑄鉄の諸性質について

Some Properties of High Tension Malleable Iron

岩 瀬 昌 徳*
Masayoshi Iwase

内 容 梗 概

高力可鍛鑄鉄は白銑を熱処理して作られる鑄物で、黒心可鍛鑄鉄よりも引張強さ、疲れ強さは高く、耐摩耗性に富み、また必要に応じて高周波焼入などにより局部的に硬度をあげることができる。また鋼にくらべて降伏比が高く、減衰能が大きく、切削性が良好であるなどのすぐれた性質をもっている。

1. 緒 言

鋼の強靱性と鑄鉄の鑄造性とを兼ね備えた鑄造材料として、黒心可鍛鑄鉄は広く使用されている。黒心可鍛鑄鉄の金属組織は、フェライト基地の中に塊状の焼鈍炭素が点在したものであり、これの引張強さは $30 \sim 40 \text{ kg/mm}^2$ 、伸びは $10 \sim 20\%$ であり、切削性は鉄鋼材料中で最も良好であるため、量産加工部品に使用されている。しかし鋼材に比べて、強度が低いこと、耐摩耗性に乏しく、焼入硬化も行いにくい欠点がある。

この点を解決するために、日立金属工業株式会社では古くより高力可鍛鑄鉄の製造に関する研究を行い、需要に応じてきた。

高力可鍛鑄鉄は黒心可鍛鑄鉄と同じく、白銑鑄物を熱処理して製造される。黒心可鍛鑄鉄は完全焼鈍によって、白銑中の炭素を黒鉛化して焼鈍炭素とし、基地をフェライト組織とするのであるが、高力可鍛鑄鉄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ものである。鋼の機械的性質が、炭素含有量と熱処理によって種々異なるように、高力可鍛鑄鉄も製造方法によって基地の組織をパーライト、マルテンサイト、ソルバイト、球状パーライトにかえて種々な機械的性質のものをうることができる。このように基地に化合炭素の一部を残すので、黒心可鍛鑄鉄よりも引張強さ、疲れ強さは高く、耐摩耗性もます。

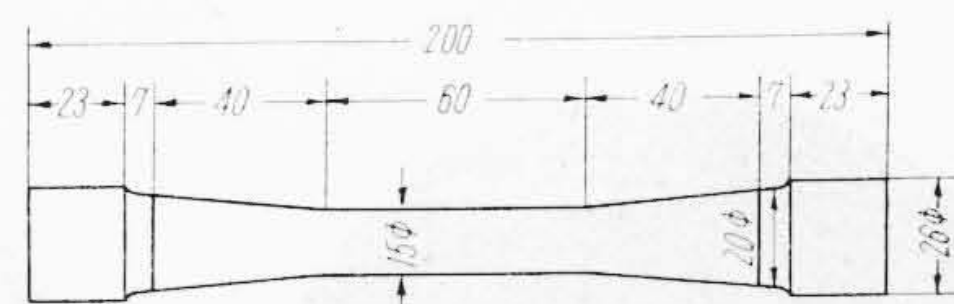
最近産業界特に自動車関係の業界では、価格の低減、軽量化、性能の向上などの目的のために、高力可鍛鑄鉄の需要が急激に増加している。高力可鍛鑄鉄の金属材料としての諸性質についての研究を取りまとめて参考に供する次第である。

2. 機 械 的 性 質

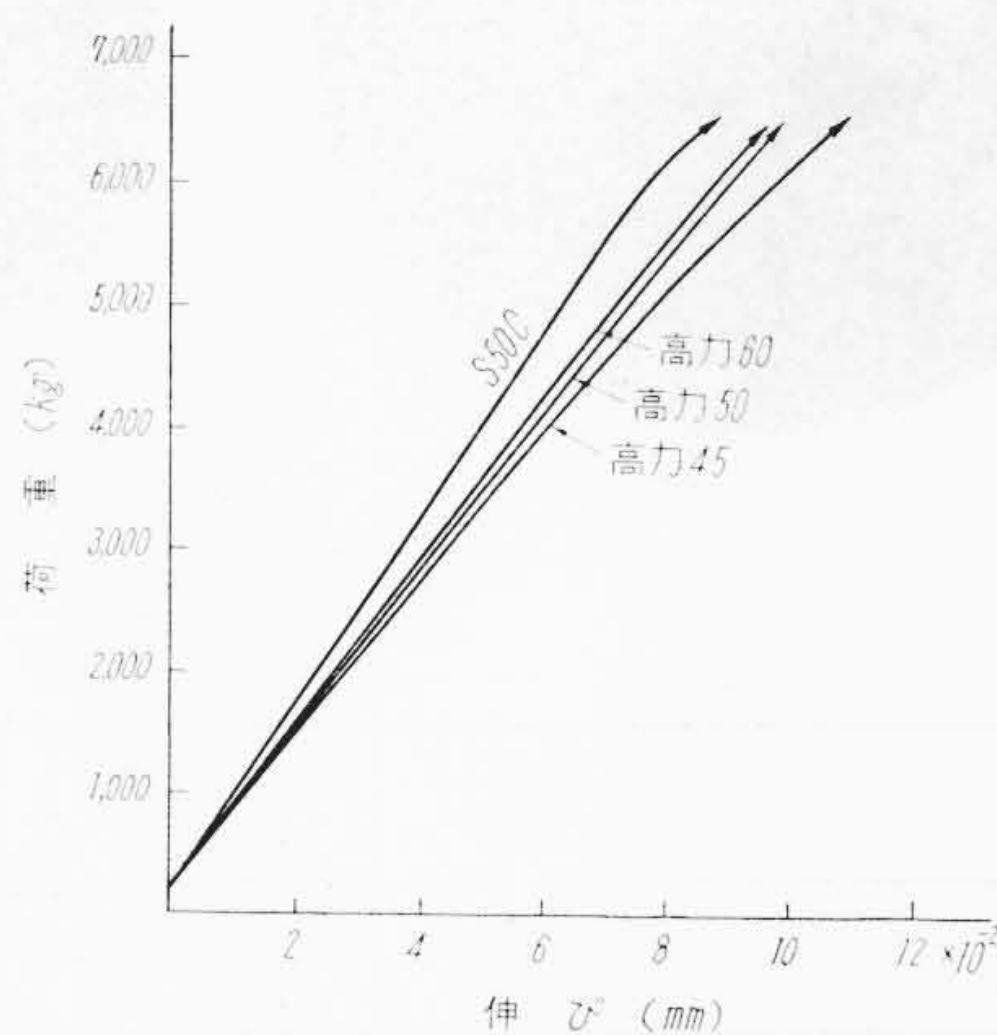
2.1 引 張 試 験

平行部 $20 \text{ mm}\phi$ の粗材より第1図の寸法の試験片を加工して、引張試験を行い、弾性係数を求めた。材料は高

* 日立金属工業株式会社戸畑工場



第1図 引張試験片の形状

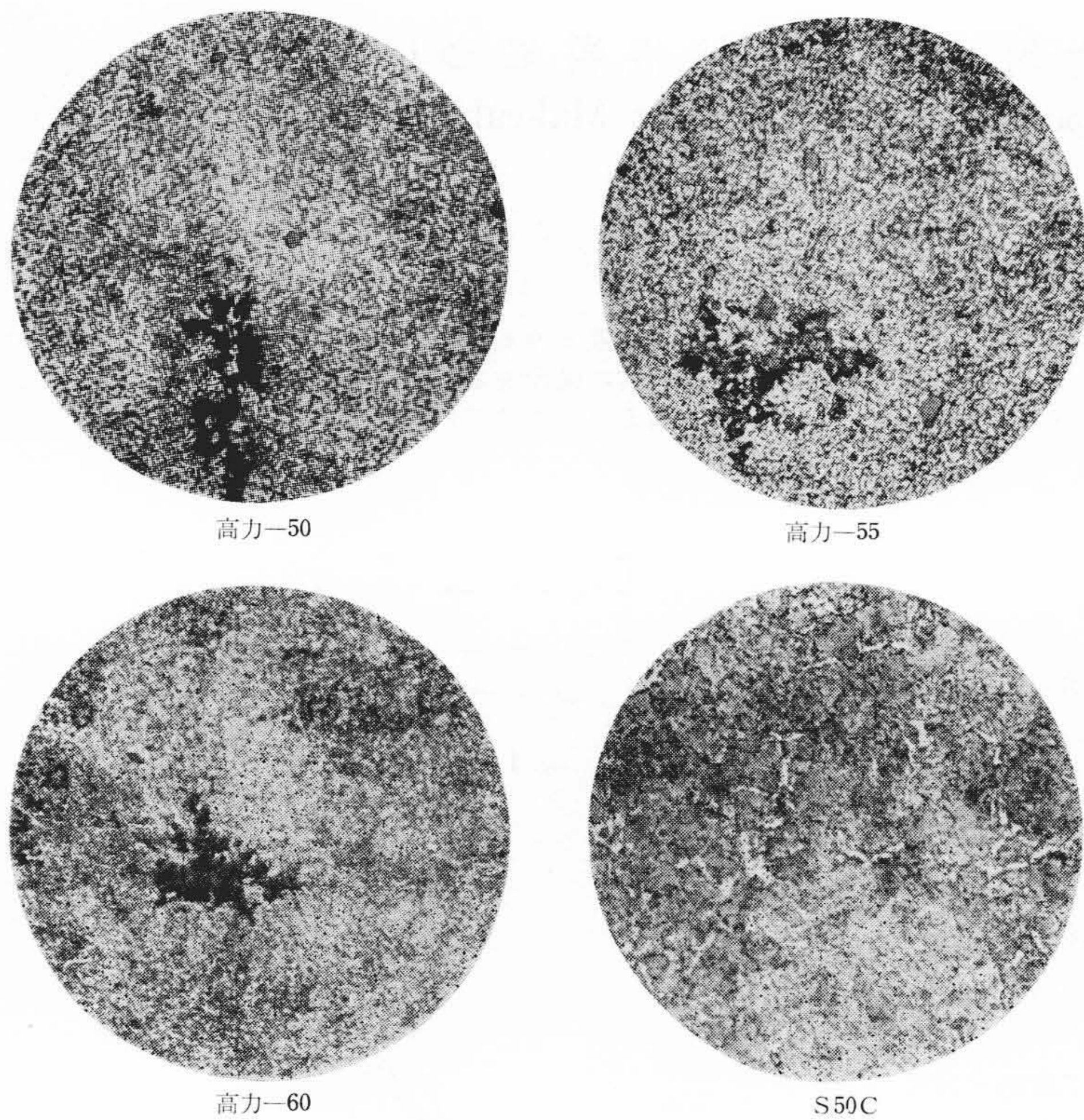


第2図 高力可鍛鑄鉄の応力—ひずみ線図

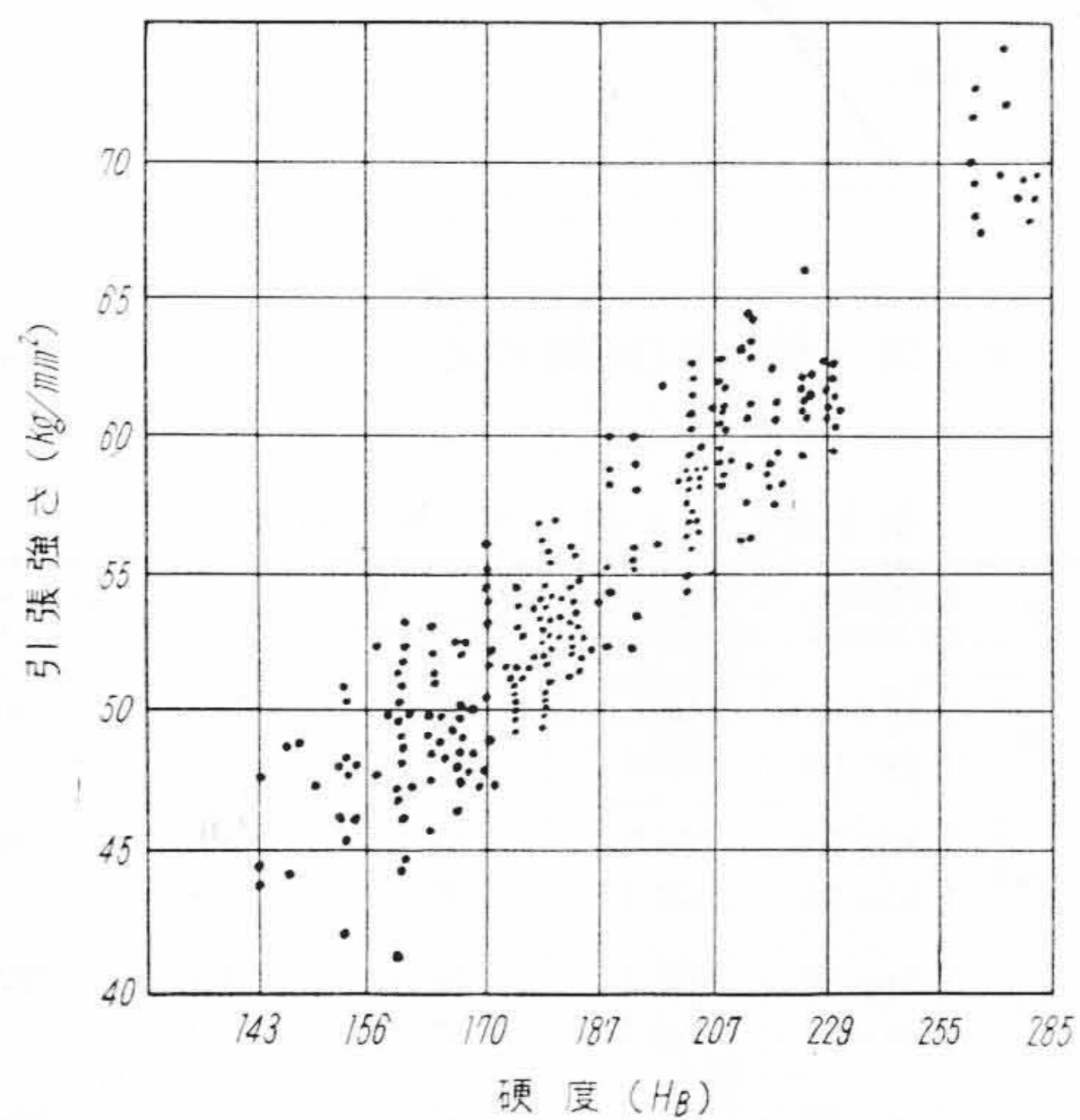
第1表 引 張 試 験 結 果

材 質	弾性係数 (kg/mm^2)	引張強さ (kg/mm^2)	耐 力 (kg/mm^2)	伸 び (%)	硬 度 (HB)
高力 50	1.83×10^4	53.7	42.3	6.0	196
	1.82×10^4	50.9	39.5	4.8	
高力 55	1.82×10^4	59.2	49.7	4.0	228
	1.83×10^4	62.3	50.2	3.8	
高力 60	1.84×10^4	62.5	56.5	2.4	262
	1.84×10^4	63.7	57.2	2.4	
S 50 C	2.14×10^4	81.9	53.8	27.6	235

力 50, 55, 60 および S 50 C の 4 種類である。試験機はアムスラー形 50 t 引張試験機で、マルテンズ鏡式ひずみ計を使用した。第2図に応力—ひずみ線図を、第1表に測定結果を示す。高力可鍛鑄鉄の弾性係数は $1.82 \sim 1.84 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$ で、基地の硬度をあげても、弾性係数には大差ない。高力可鍛鑄鉄は鋼のような、明りょうな降伏現象を示さない。耐力が規定されている。高力可鍛鑄鉄



第3図 顕微鏡組織 (×300)



第4図 高力可鍛鋳鉄の引張強さと硬度との関係

の耐力の引張強さに対する比率は鋼よりも大きく、60～80%である。この試験片の顕微鏡組織を第3図に示す。

高力可鍛鋳鉄の引張試験は普通の場合黒心可鍛鋳鉄と同様に、14 mmφに鋳込まれた黒皮試験片について行われる。最近の高力可鍛鋳鉄の引張強さと硬度、および伸びと硬度の関係は第4～5図に示すとおりである。この

高力可鍛鋳鉄の基地組織は球状パーライトであり、この量の多いほど引張強さ、硬度は高くなり、伸びが低下してくる。

2.2 曲げ試験

黒心可鍛鋳鉄では厚さ 10 mm, 幅 16 mm, 長さ 230 mm の黒皮試験片で屈曲試験を行い, FCMB 32 の場合は 120 度以上, FCMB 35 の場合は 150 度以上屈曲することが規定されている。鋳鉄では 35 mmφに鋳造した粗材より, 30 mmφ, 長さ 350 mm の試験片を加工して抗折試験を行い, FC 30 および FC 35 の場合に 5.5 mm 以上のたわみを規定されている。したがって高力可鍛鋳鉄についても同じ試験を行った。試験要領は第6～7図のとおりであり, その結果をまとめて第2表に示す。なお抗折試験のときの荷重—たわみ線図を第8図に示す。屈曲試験の結果, 高力 45 では 120 度まで屈曲し, FCMB 28 以上の屈曲性を示している。これ

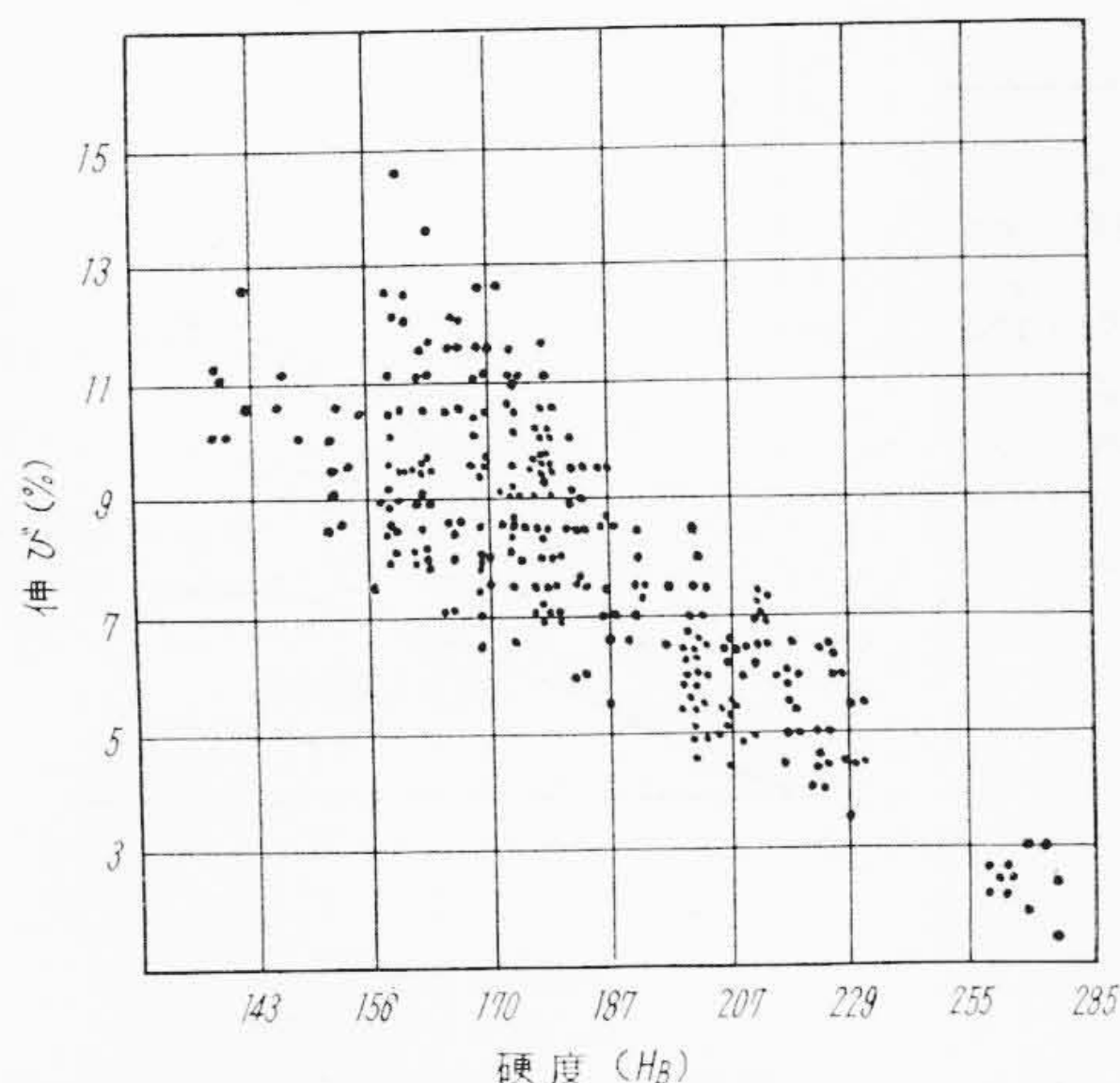
よりも引張強さが高くなるにしたがって, 順次屈曲性は悪くなり, 高力 60 では 30～40 度で破断する。しかし鋳鉄と同じ抗折試験を行うと, いずれの場合もたわみは 17 mm 以上であり, 鋳鉄よりもはるか靱性をもっていることを示している。

2.3 衝撃試験

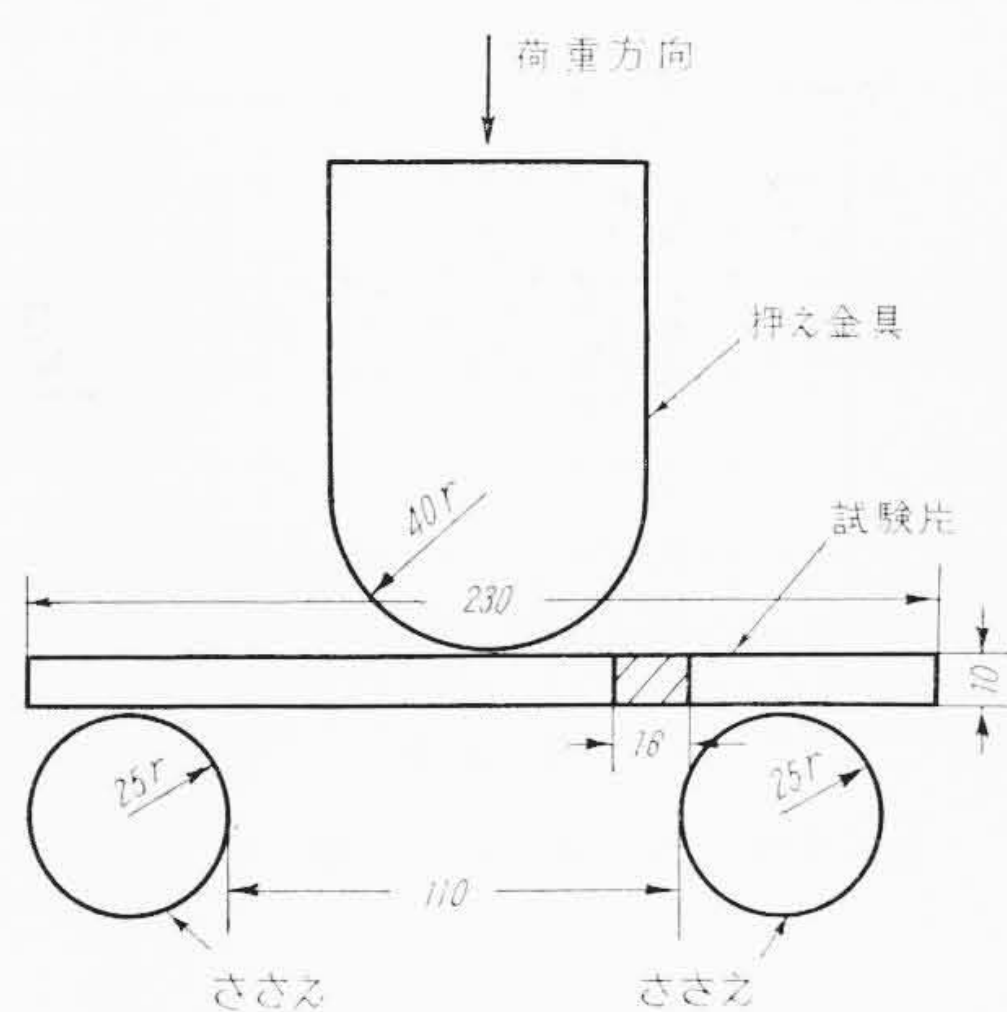
黒心可鍛鋳鉄の衝撃値は 1.7～2.3 kgm/cm² であるが, 高力可鍛鋳鉄は基地がかたくなるので, これよりも低下する。また鉄鋼では室温以下の温度になると急激に衝撃値が低下する性質をもっているが, 黒心可鍛鋳鉄ではこの傾向が少なく -30℃ くらいまではほとんどかわらないことが特長である。したがって高力可鍛鋳鉄の衝撃試験を 70℃ より -193℃ までの各温度にて行った。試験は 10 kg・m シャルピ衝撃試験機により行ったもので, 試験片寸法は JIS 3 号で 1 R の U ノッチのついたものである。試験の結果を第3表, 第9図に示す。高力可鍛鋳鉄の引張強さが高くなるに従って, 伸び, 衝撃値ともに低下し, 高力 60 の室温における衝撃値は黒心可鍛鋳鉄の約 1/2 となり, 低温になるに従って低下する。

2.4 疲れ試験

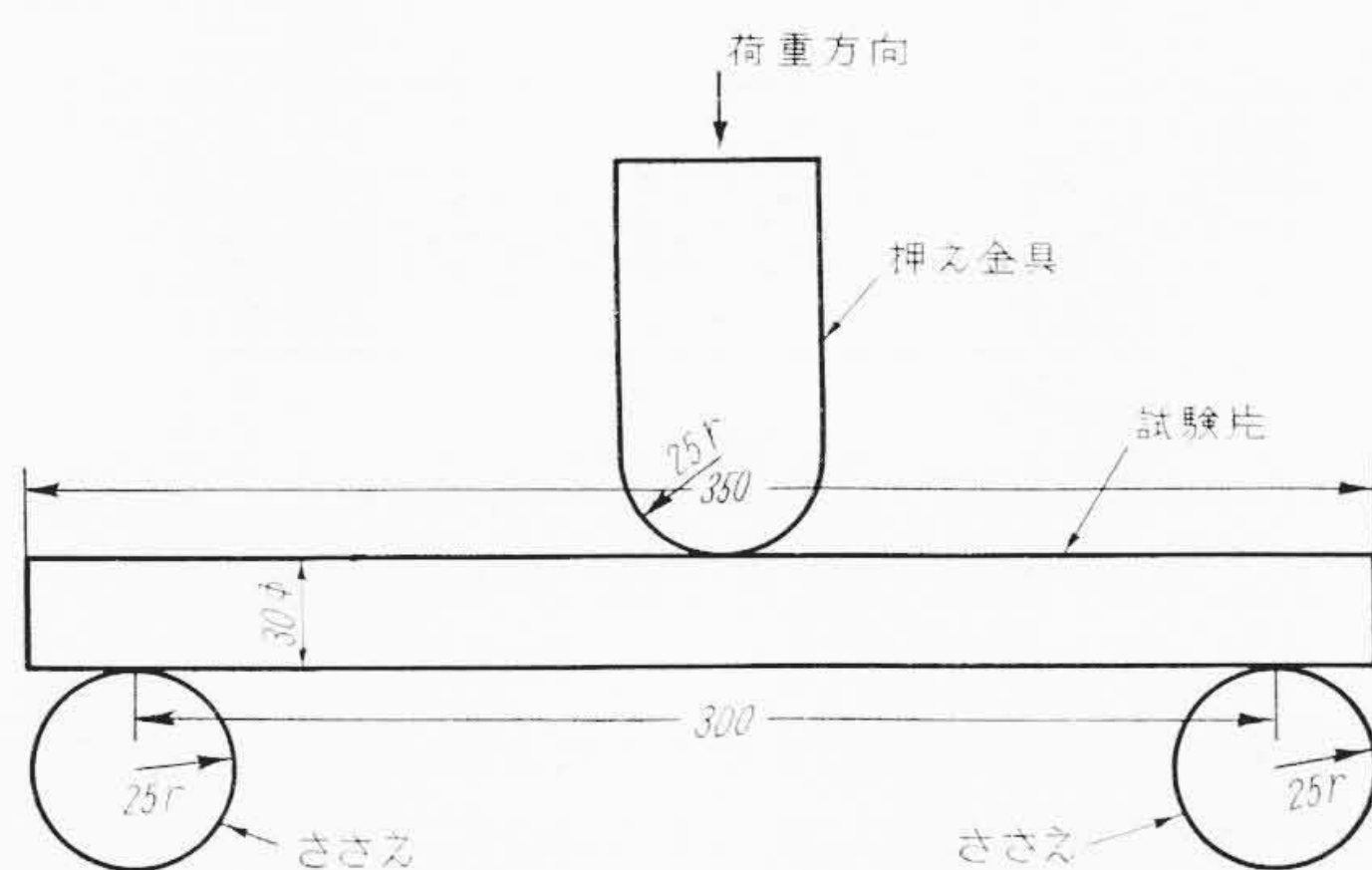
高力可鍛鋳鉄は以上に述べたように, 50～80 kg/mm² の高い引張強さをもっているが, 部品として使用される場合には繰返変動荷重をうける場合がほとんどであり,



第5図 高力可鍛鋳鉄の伸びと硬度との関係



第6図 屈曲試験方法

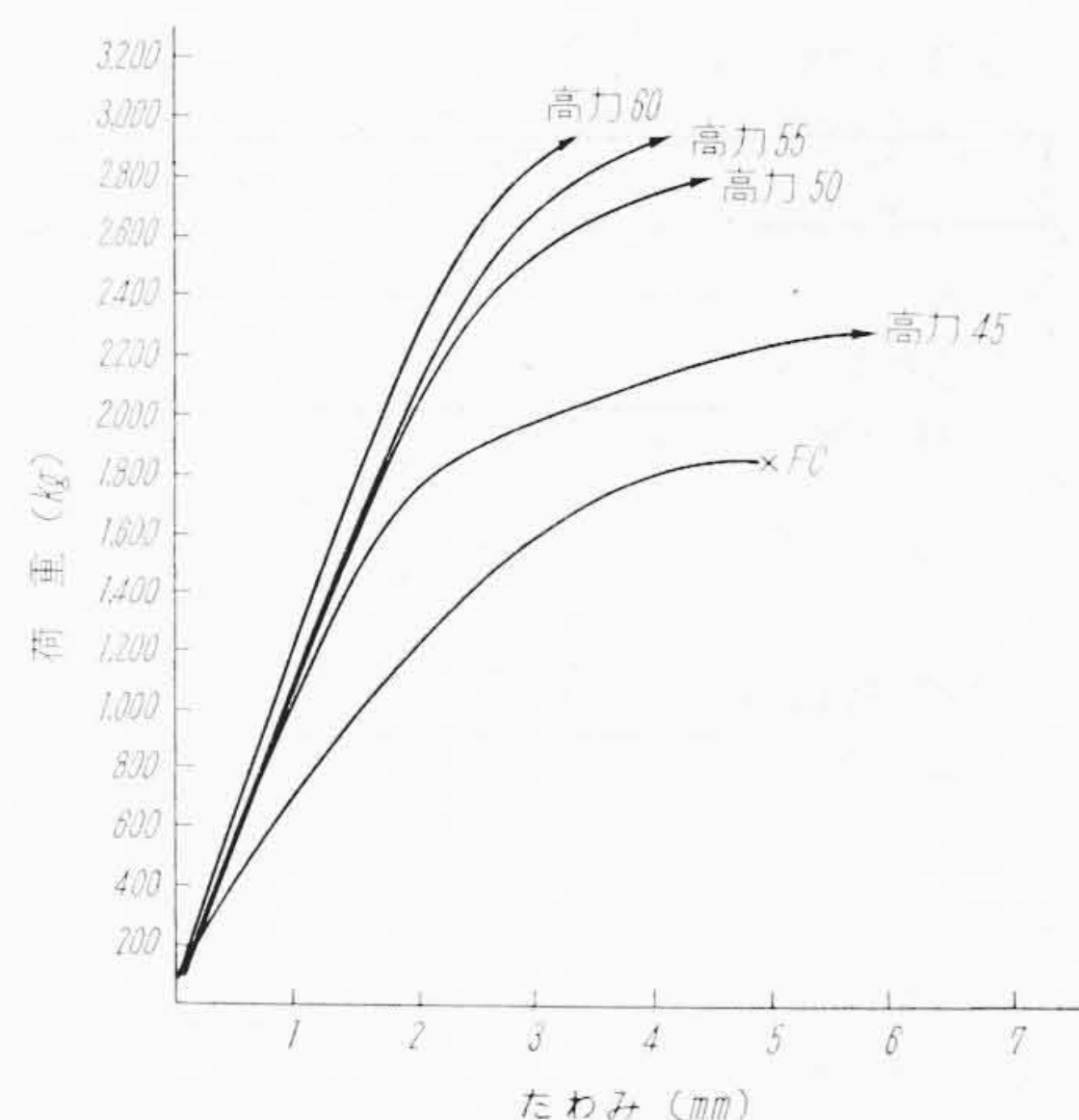


第7図 抗折試験方法

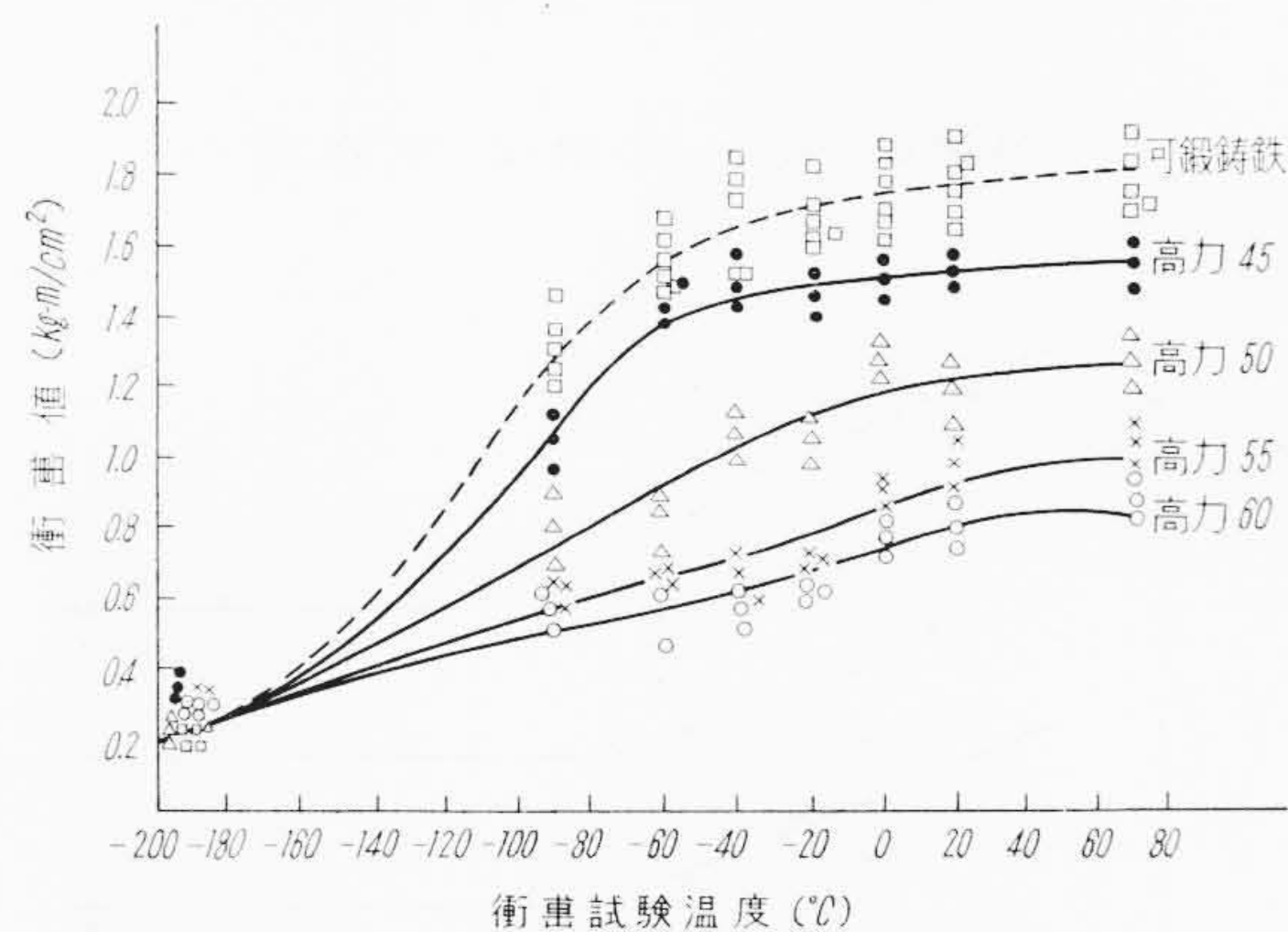
材料の疲れ強さが重要な問題である。さらに部品には切欠として作用する段や油孔をもっているのが普通であるので、材料の切欠に対する特性を知る必要がある。したがって高力可鍛鋳鉄の疲れ強さを小野式回転曲げ疲れ試験機によって試験した。試験片は第10図に示す標準形平滑材と切欠材3種である。試験結果を第11図に示す。形状係数と切欠係数の関係は第12図に示すように、

第2表 高力可鍛鋳鉄の曲げ試験結果

材質	引張試験		硬度 (HB)	曲げ試験		抗折試験	
	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)		曲げ角度 (°)	内側半径 (Hm)	最大荷重 (kg)	破壊時の 最大たわみ (mm)
高力 45	50.8	9.0	183	150以上 120	40 40	3,645	25.18
	51.9	11.0	174	120	40	3,620	28.50
高力 50	56.6	7.0	197	150以上 100	40 40	4,100	24.60
	57.3	7.0	201	80	40	4,330	22.40
高力 55	57.6	6.0	223	50 50	40 40	4,045	19.60
	59.0	6.0	217	40	40	3,810	18.35
高力 60	64.3	4.5	255	30 40	40 40	4,145	18.99
	62.2	5.0	248	30	40	4,275	17.35



第8図 高力可鍛鋳鉄の荷重—たわみ線図



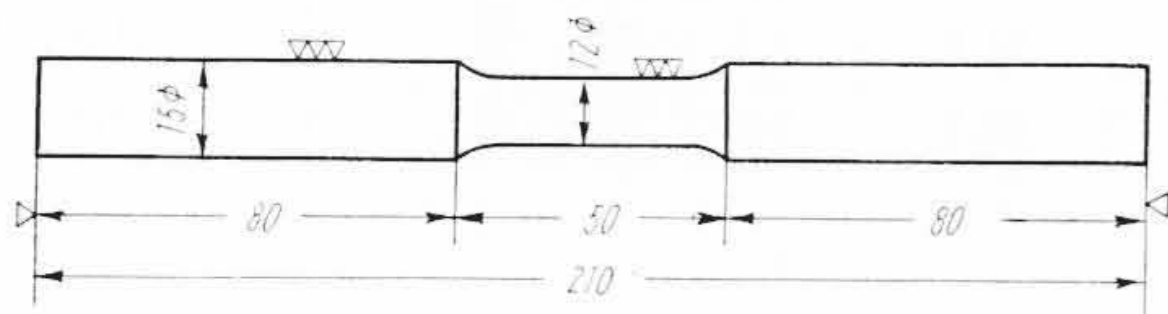
第9図 高力可鍛鋳鉄の遷移曲線

鋭い切欠をつけた場合の切欠係数が鋼材より非常に小さい。これは高力可鍛鋳鉄の金属組織が単一なパーライト基地でなく、中に塊状の焼鈍炭素を含有しているための特長であり、焼鈍炭素は高力可鍛鋳鉄の切欠に対する感度を非常に鈍感にする役目を果しているものと考えられる。

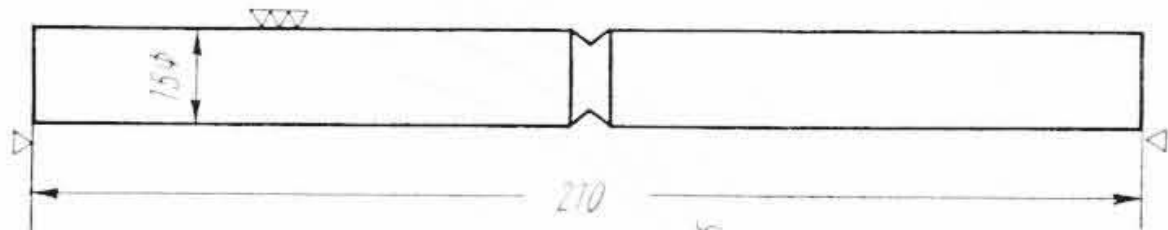
第 3 表 高力可鍛鋳鉄の低温衝撃値

材 質	引 張 試 験		硬 度 (HB)	衝 撃 値 (kg.m/cm ²)								
	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)		-190°C	-90°C	-60°C	-40°C	-20°C	0°C	19°C	70°C	
可鍛鋳鉄	33.4	17.0	120	0.25	1.30	1.53	1.73	1.66	1.75	1.76	1.78	
高力 45	47.5	12.5	159	0.36	1.13	1.44	1.57	1.46	1.51	1.51	1.55	
高力 50	53.9	6.7	201	0.26	0.76	0.81	1.09	1.04	1.26	1.20	1.26	
高力 55	60.4	4.8	229	0.33	0.55	0.66	0.68	0.74	0.85	0.78	0.98	
高力 60	66.9	4.0	255	0.30	0.59	0.58	0.59	0.68	0.76	0.80	0.89	

平滑疲れ試験片

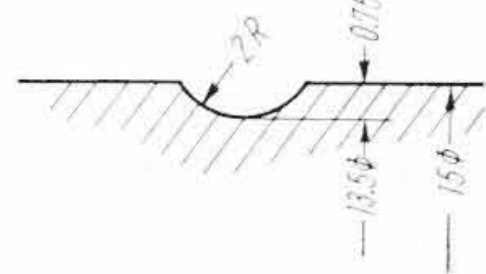


切欠疲れ試験片



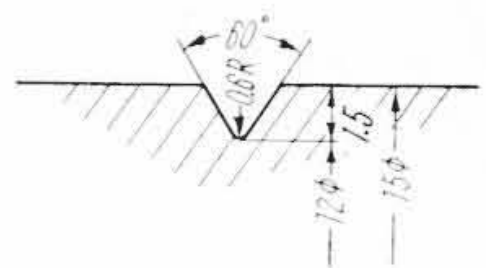
切欠形状(a)

$$\alpha K = 1.64$$



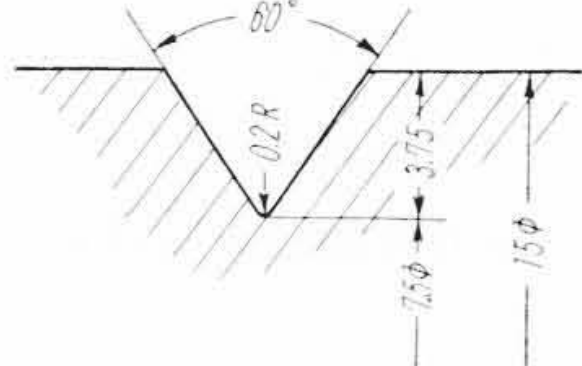
切欠形状(b)

$$\alpha K = 2.63$$

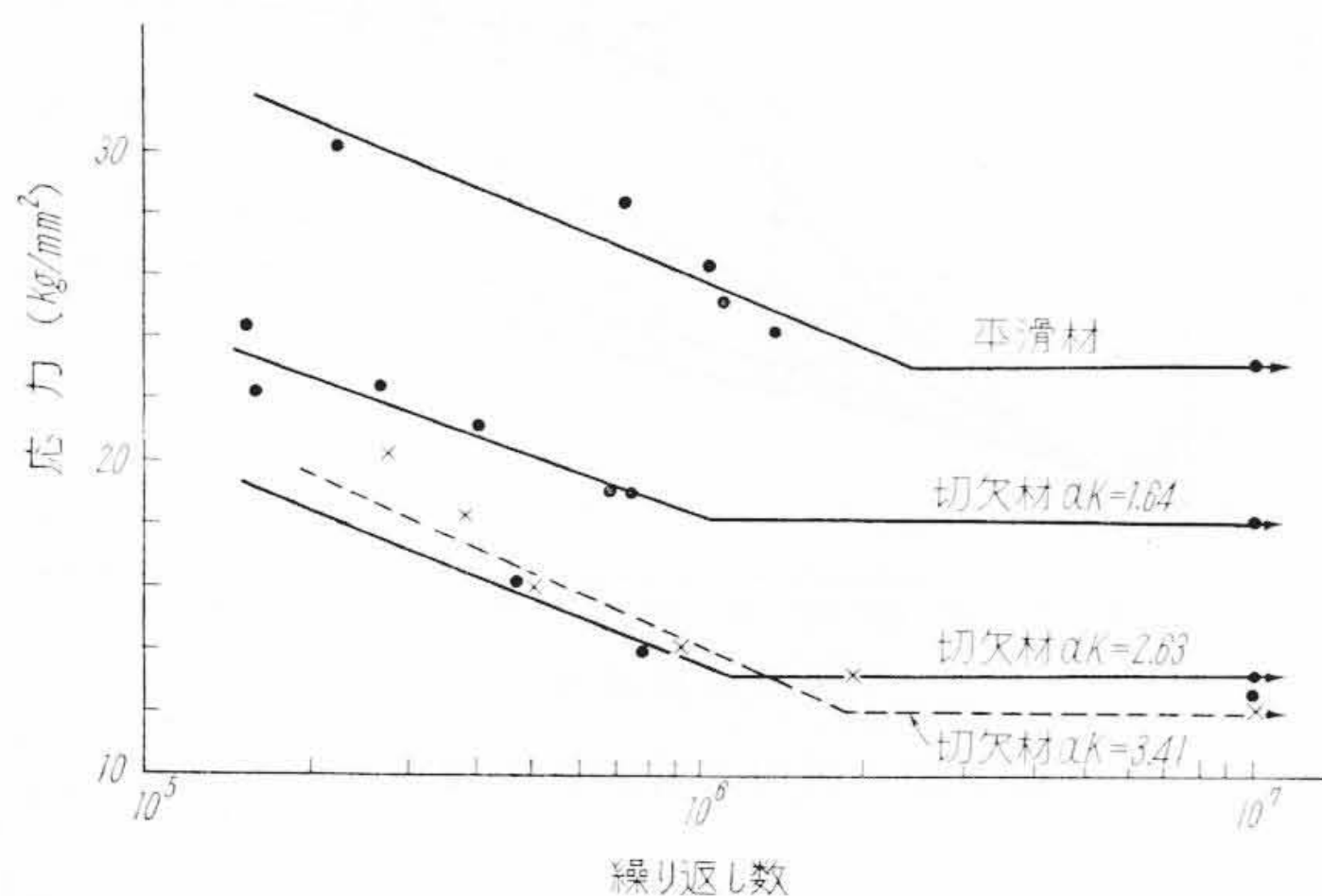


切欠形状(c)

$$\alpha K = 3.41$$

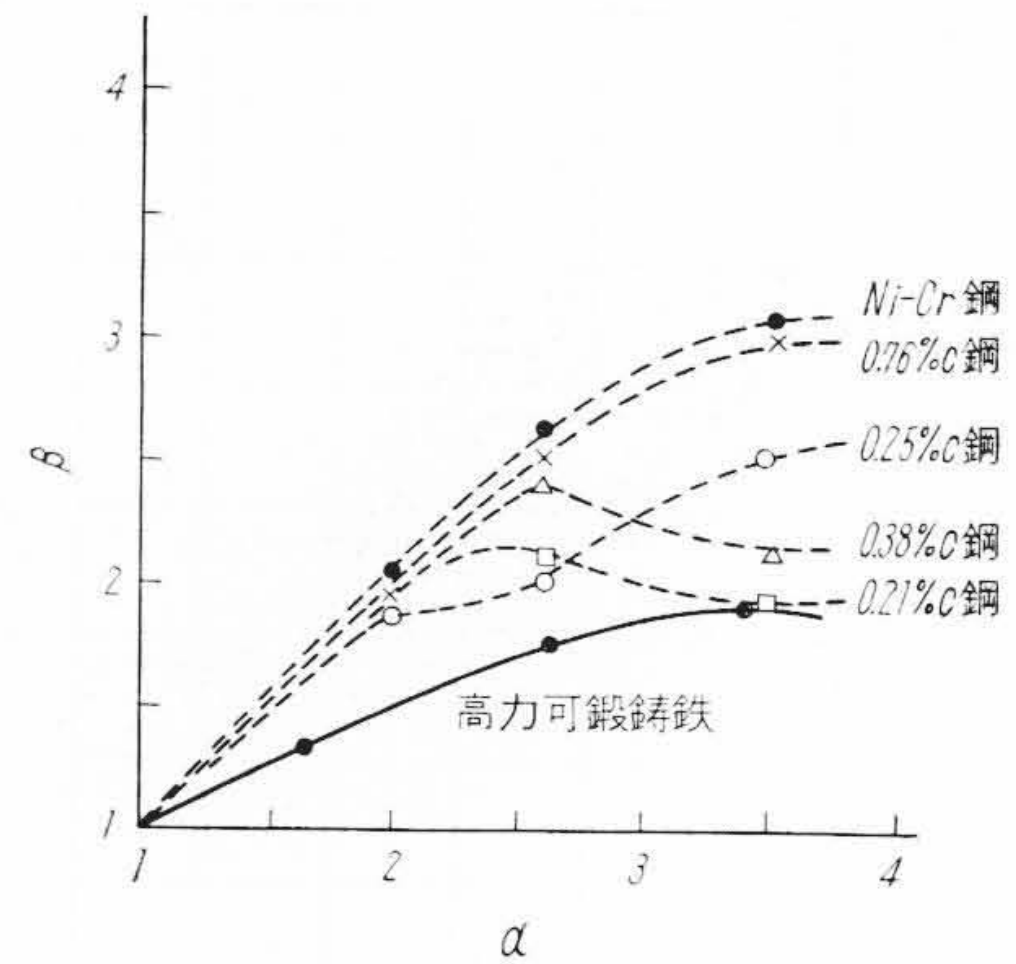


第 10 図 疲れ試験片の形状

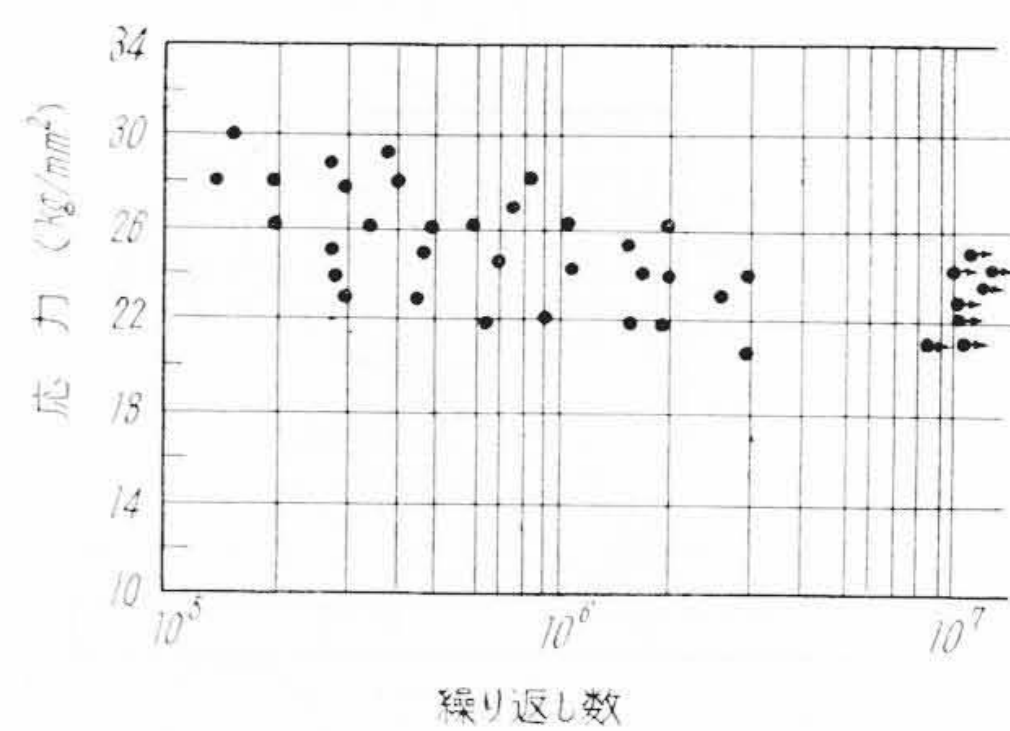


第 11 図 高力可鍛鋳鉄の耐久線図

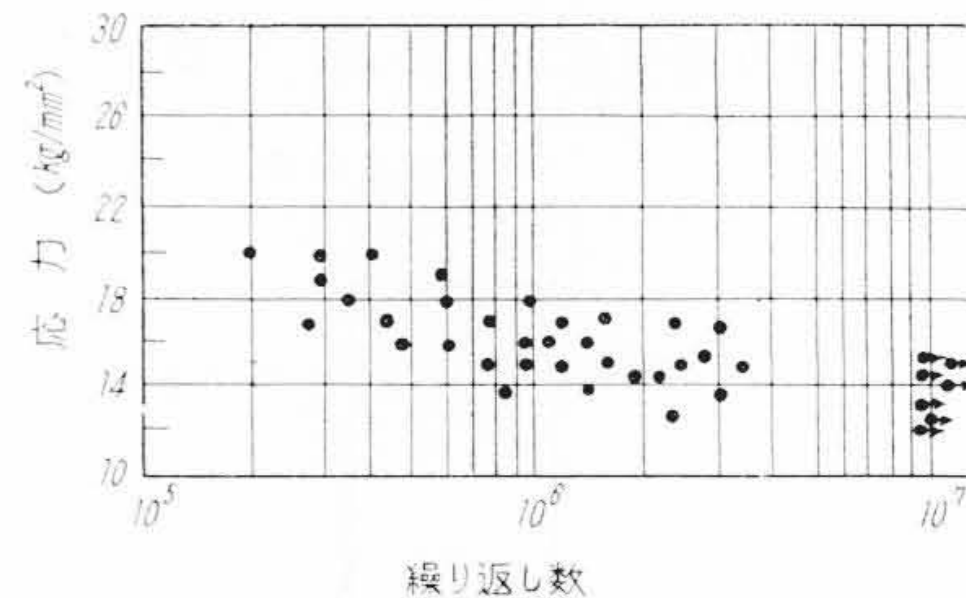
平滑材の耐久線図および形状係数 2.63 の切欠をつけた切欠材の耐久線図をまとめると第 13~14 図のようで、平滑材の疲労限は 21~26 kg/mm²、鋭い切欠をつけた場合の疲労限は 12~15 kg/mm² である。



(炭素鋼, 特殊鋼: 石橋著, 金属の疲労と破壊の防止参照)

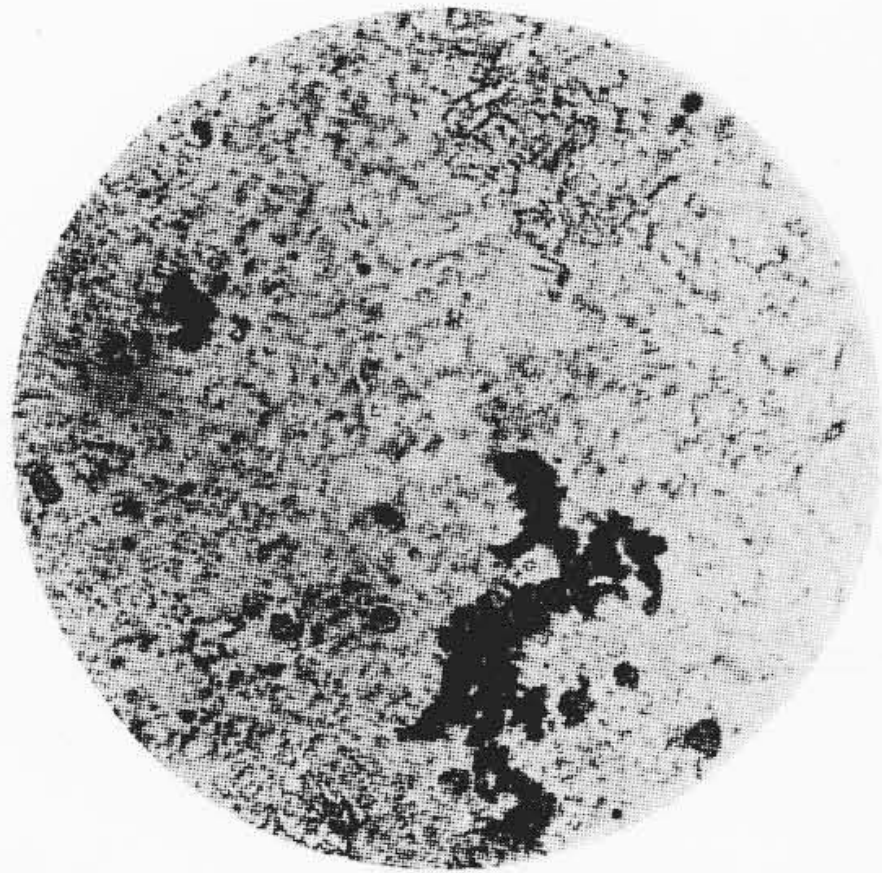
第 12 図 双曲線切込みをもった高力可鍛鋳鉄の α と β との関係

第 13 図 平滑材の耐久線図

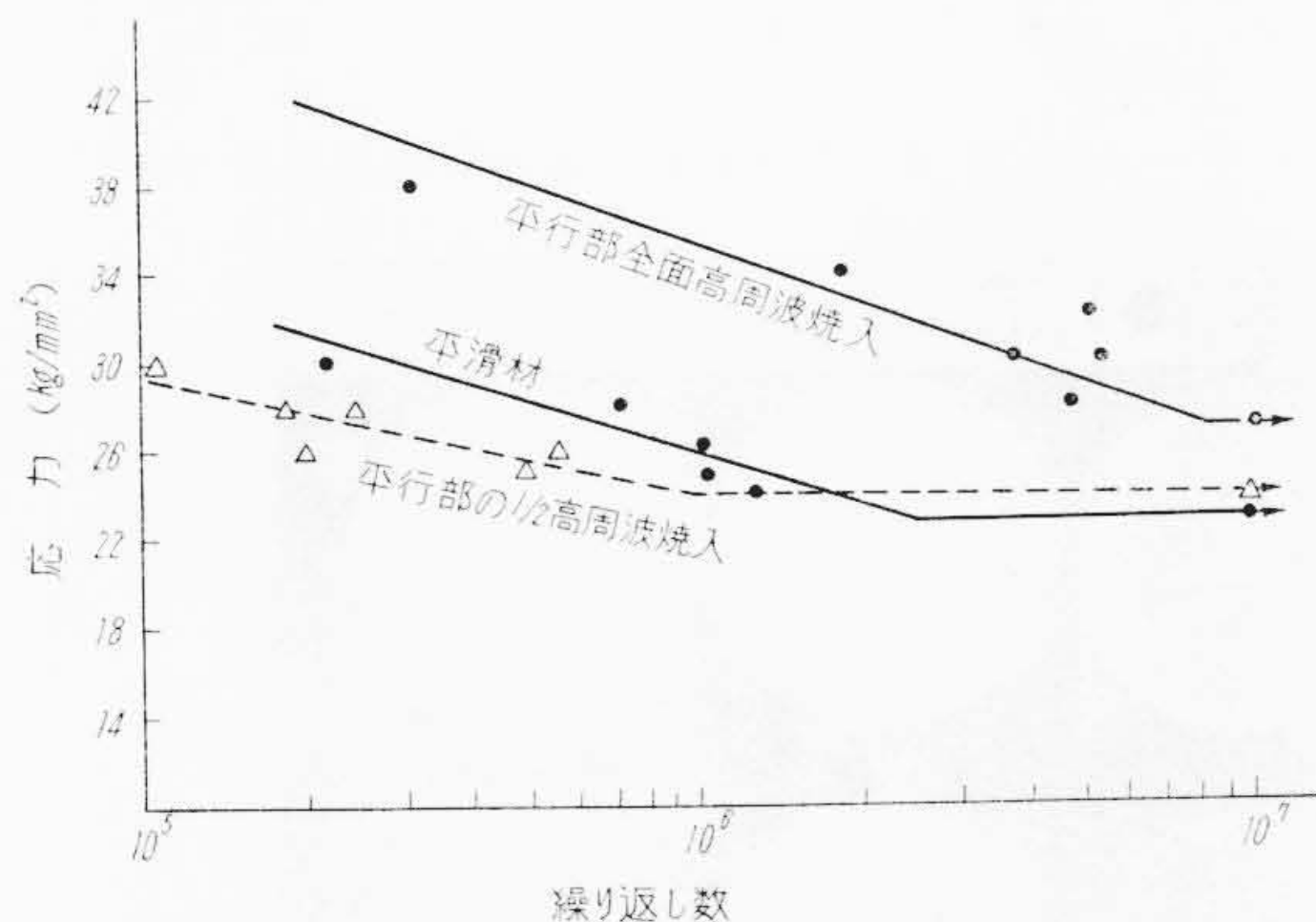
第 14 図 切欠材の耐久線図 ($\alpha = 2.63$)

疲れ強さは表面硬化することにより一般に向上する。高力可鍛鋳鉄を実際に使用する場合に、耐摩耗性をよくするために表面硬化されることも多いので、高力可鍛鋳鉄の試験材について、高周波表面焼入の影響を調べた。試験は平滑材の全面にわたって高周波表面焼入を行った場合と平行部の $\frac{1}{2}$ だけ焼入した場合について行った。

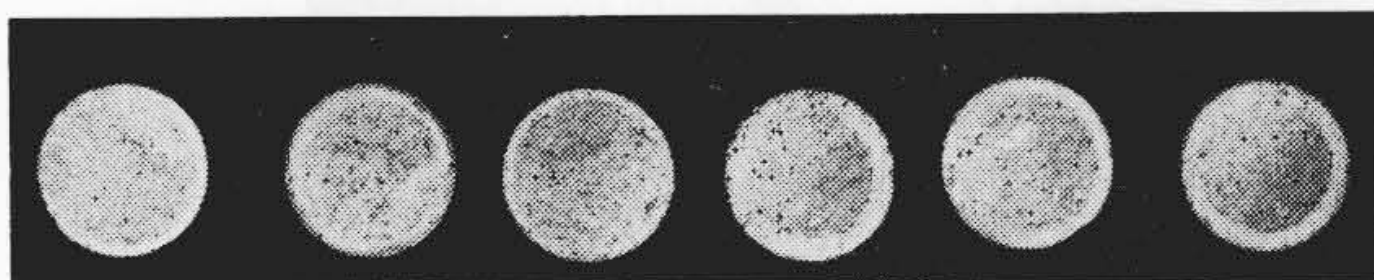
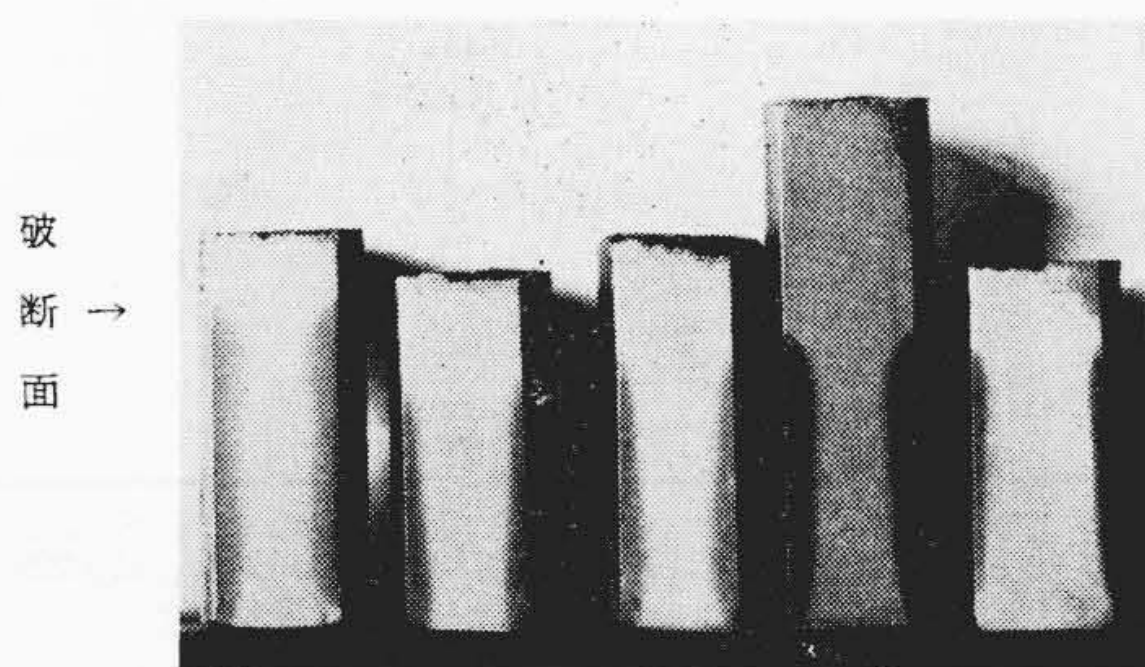
20,000 サイクルの火花放電式高周波焼入機を用いて、内径 18mmφ のコイルにて表面焼入を行った。表面硬度は HR(C) 58~61 であり、その組織は第 15 図のとおりである。試験結果は第 16 図に示すように、表面焼入により疲れ強さは 4 kg/mm² 高くなる。この破断面の状況を



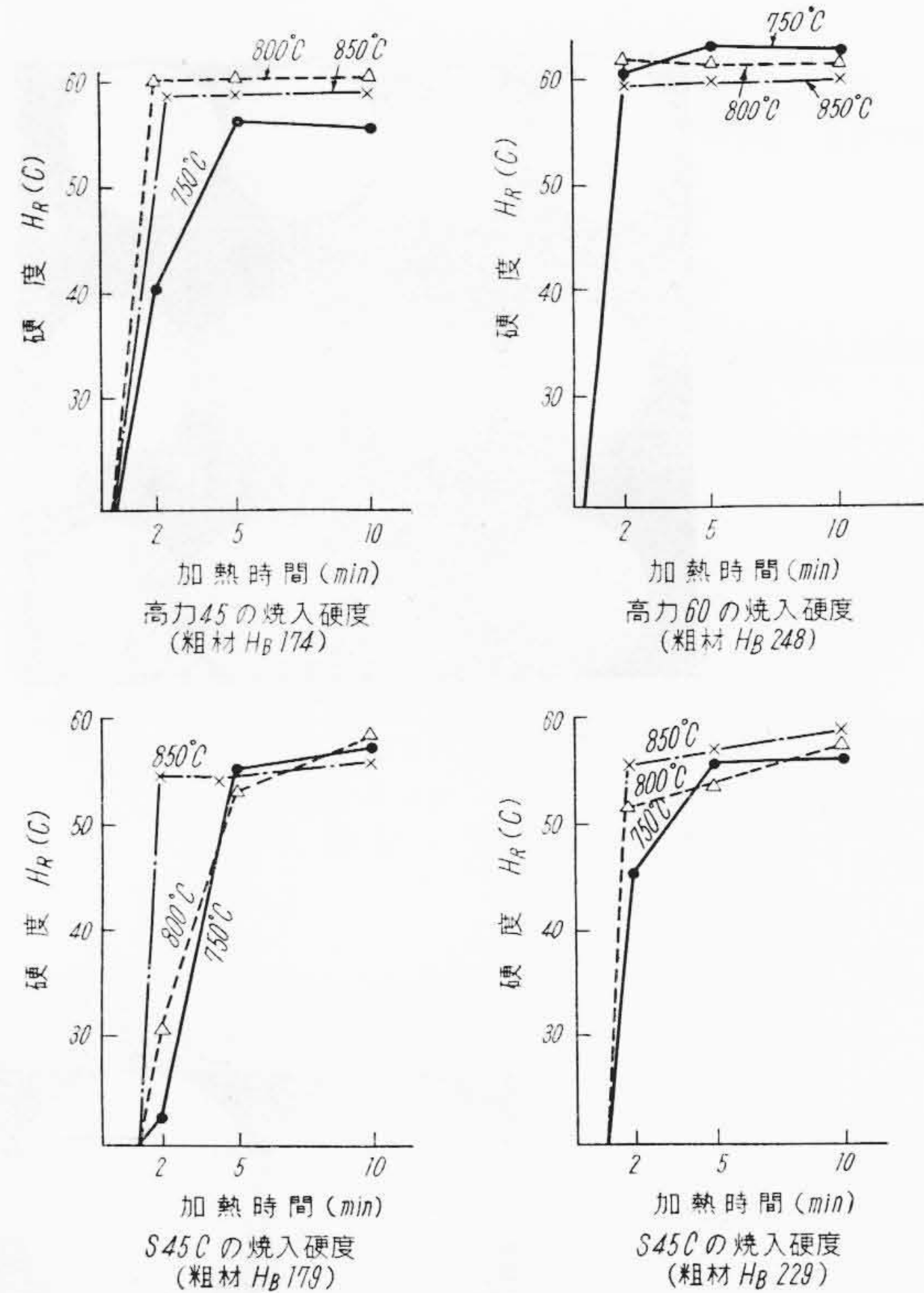
第15図 高周波焼入部の顕微鏡組織(×300)



第16図 高周波表面焼入材の耐久線図


第17図 高周波表面焼入を行った試料の
疲れ試験後の破断面(×1)

第18図 平行部の1/2のみ高周波表面焼入を行
った試料の破断箇所および焼入状況(×1)

第17図に示す。平行部の1/2だけ表面焼入を行った場合の破断箇所は焼入部よりはなれていて、ほとんど熱影響を受けていないと考えられる部分である。したがってこの場合の疲れ強さは平滑材の場合と大差ない。破断箇所



第19図 各材料の焼入条件と硬度との関係

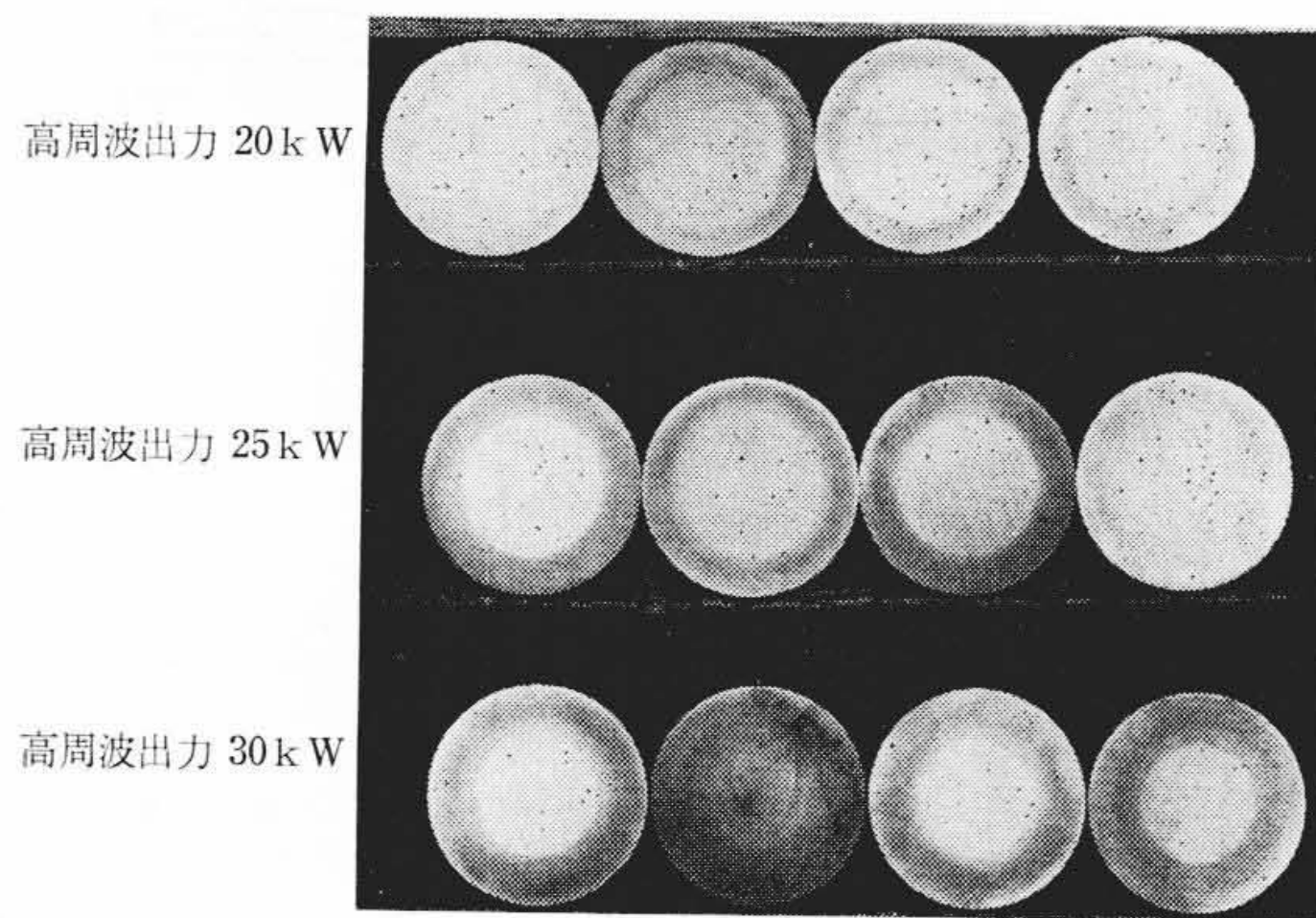
および焼入部の状況は第18図のとおりである。

3. 焼 入 性

高力可鍛鑄鉄の基地は均一な球状パーライトであるため、焼入硬化はすこぶる容易である。S45C材と比較して、鉛浴を使って油焼入を行った場合および高周波表面焼入を行った場合の焼入性を調べた。

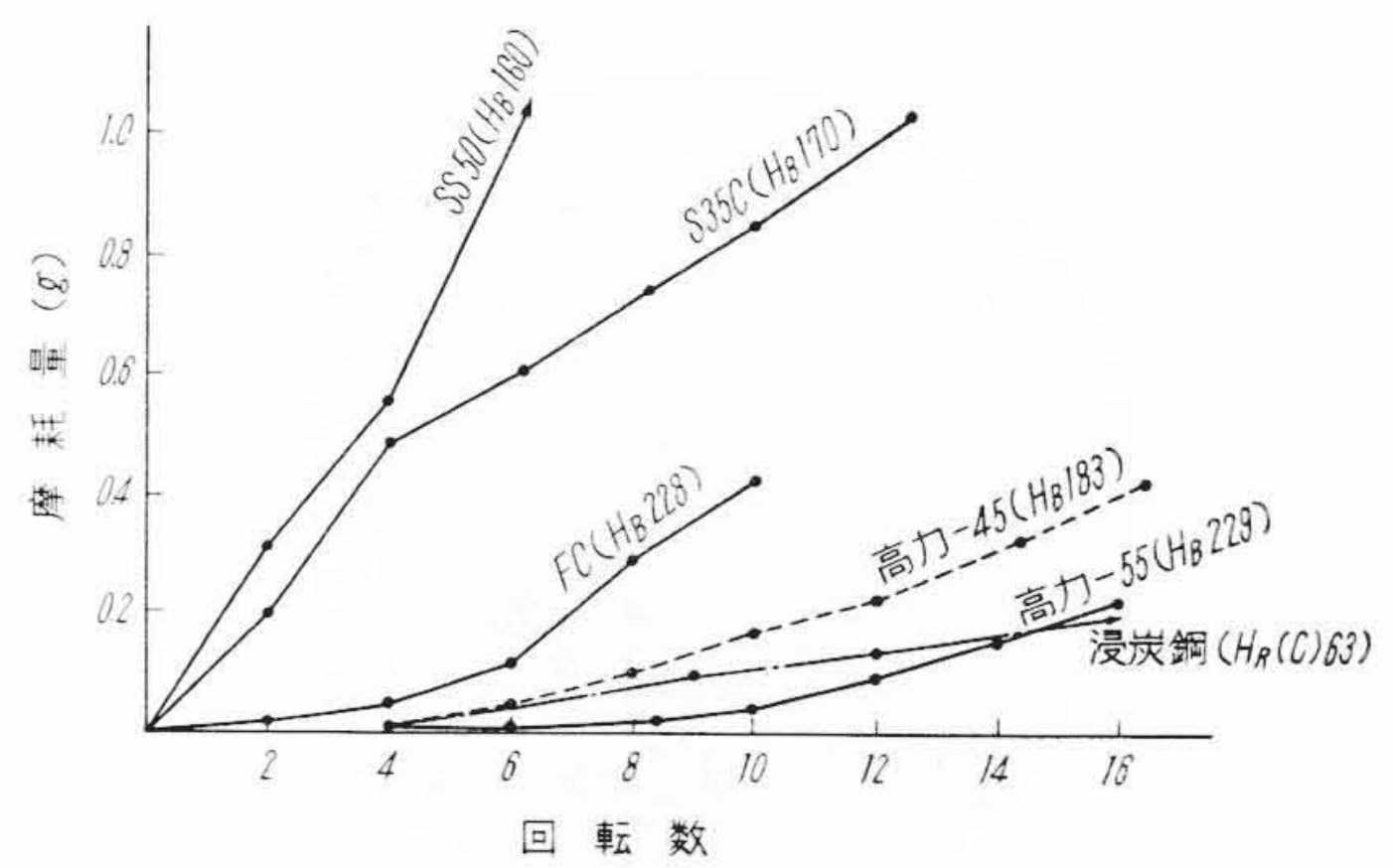
3.1 鉛浴で加熱し油焼入を行った場合

試料は6×15×15 mmの大きさで、750°C、800°C、850°Cの各温度に保持された鉛浴におのおの2、5、10分間ずつ保持したあとに25°Cの油に投入して焼入して、硬度および組織を比較した。焼入温度、時間と硬度との関係を第19図に示す。高力可鍛鑄鉄の硬度の高いものほど焼入は容易であり、焼入硬度も高くなる。この実験のような処理を行ったとき高力45の材料では、750°Cの加熱では球状セメンタイト量が少ないために完全にオーステナイト化せず焼入は不十分である。しかし800°C以上の温度に加熱すれば、2分間でも完全に焼入ができてH_R(C) 60前後の硬度となる。高力60の材料では、基地中の球状セメンタイト量が多く容易にオーステナイト化されるので、750°C 2分間以上の加熱で完全に焼入ができてH_R(C) 60前後の硬度となる。S45Cは粗材の硬度を二



粗材硬さ 高力-45 HB179 高力-55 HB223 S45C HB179 S45C HB229
(25 mmφ 試料 送り 4.2 mm/s)

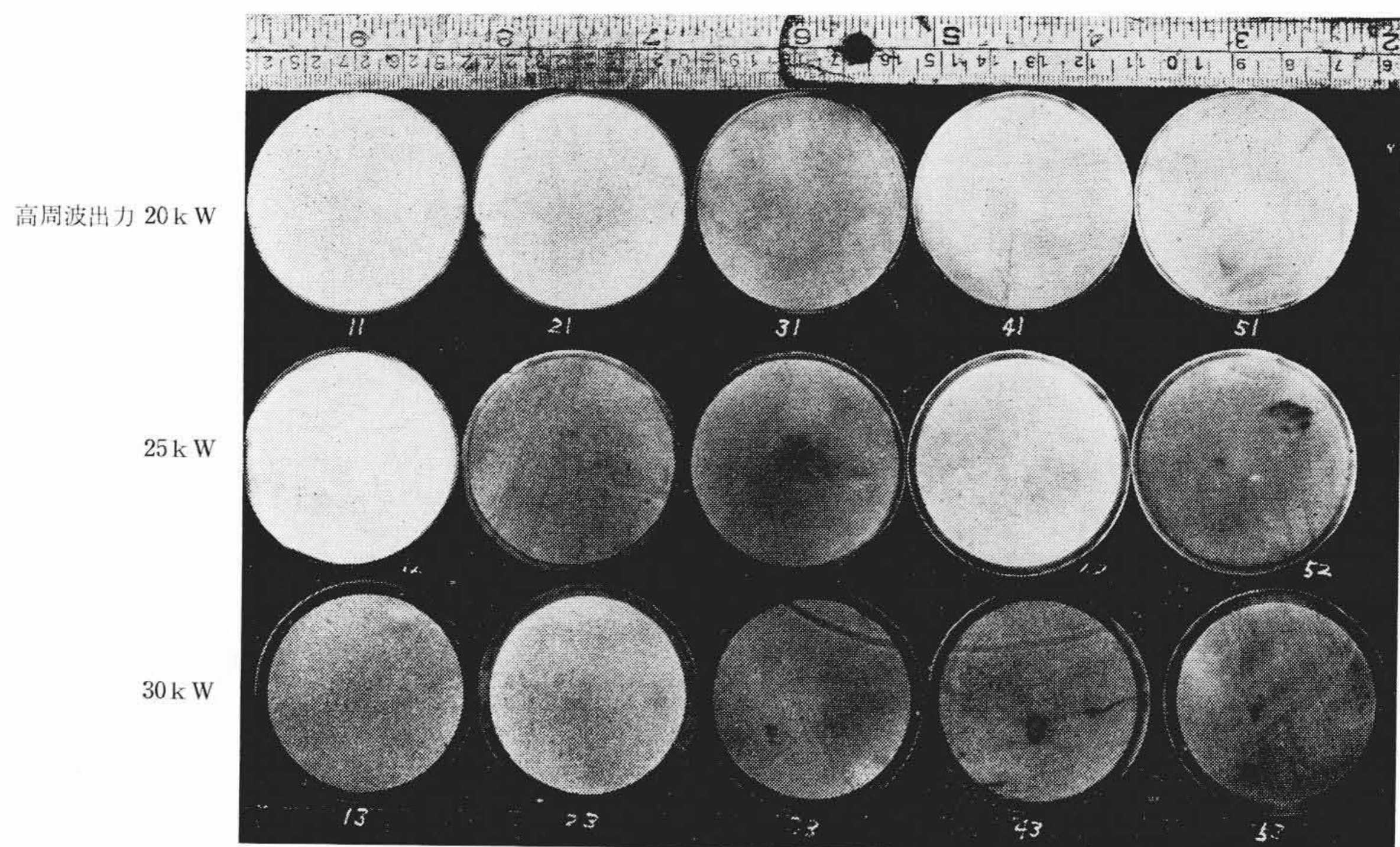
第20図 高周波表面焼入状況



試験条件

上部試験片	885 rpm
下部試験片	820 rpm
すべり	7.35%
荷重	50 kg
状態	乾性

第22図 各材料の回転相互磨耗結果



粗材硬度 高力-45 HB179 高力-55 HB197 高力-55 HB223 S45C HB179 S45C HB229
(45 mmφ 試料 送り 3.7 mm/s)

第21図 高周波表面焼入状況

第4表 焼入条件と表面硬度との関係
(25 mmφ 試料, 送り 4.2 mm/s)

高周波出力(kW)	高力-45 (HB 179)	高力-60 (HB 223)	S 45 C (HB 179)	S 50 C (HB 229)
20	60	59	61	61
25	55	59	58	60
30	56	62	60	61

とおりにえらんで実験したが、いずれもフェライトとパーライトまたはソルバイトの混合組織であるため、750°Cで2分間の加熱では均一にオーステナイト化しないため焼入が不十分である。これ以上の温度または時間に保持すると完全に焼入ができて、 $H_R(C)$ 50~60の硬度とな

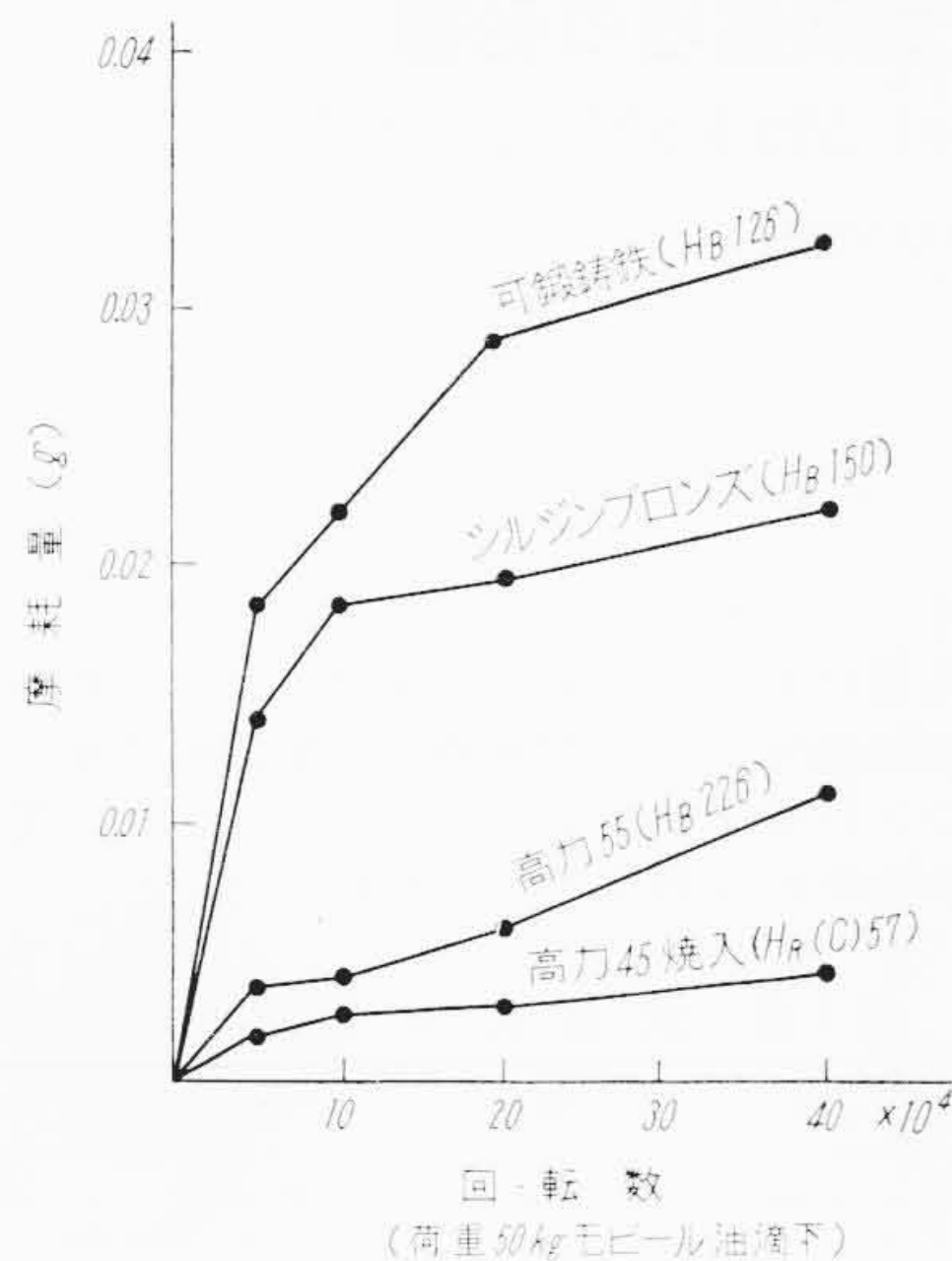
第5表 焼入条件と表面硬度との関係
(45 mmφ 試料, 送り 3.7 mm/s)

高周波出力(kW)	高力 45 (HB 179)	高力 55 (HB 117)	高力 55 (HB 223)	S 45 C (HB 179)	S 45 C (HB 229)
20	53	56	58	52	56
25	58	59	61	60	61
30	59	61	60	62	61

る。高力可鍛鉄よりも硬度が低いのは基地の炭素濃度の差によるものである。

3.2 高周波焼入を行った場合

12,000 サイクル電動発電機式高周波焼入装置を使用して、25 mmφ×150 mm および 45 mmφ×150 mm 丸棒



第23図 高力可鍛鋳鉄のすべり摩耗結果

の焼入試験を行った。焼入方法は 10 mm 幅のコイルを固定し、試料を一定速度で移動させる逐次焼入方式で、試料の送り速度を 2.6, 3.7, 4.2 mm/s, 高周波出力を約 20, 25, 30 kW の三とおりにかえて焼入した。焼入後表面硬度を測定し、試料の中央部を切断してマクロ組織および断面について表面より中心部までの硬度の分布を測定した。焼入後の表面硬度および断面の状況の一例を示すと、第4表、第20図および第5表、第21図のとおりで、硬度 180 以上の高力可鍛鋳鉄の場合には S 45 C と同じ程度の焼入条件で、表面硬度 $H_R(C)$ 60 前後、焼入深さ 2 ~ 3 mm の高周波表面焼入を施すことが容易にできる。

4. 耐 摩 耗 性

高力可鍛鋳鉄は基地が球状パーライトで硬度が高く、潤滑作用のある黒鉛を組織中に内在しているために耐摩耗性は良好である。西原式摩耗試験機にて、鋼、鋳鉄、

高力可鍛鋳鉄の同質の試験片を組合せて、ころがりと同時にすべりを与えて、乾性の状態で摩耗試験した結果は、第22図のとおりで、高力可鍛鋳鉄のかたさは浸炭鋼よりもはるかに低いが、耐摩耗性にすぐれている。また前に述べたように、焼入性はきわめて良好で硬度をあげることで、耐摩耗性はさらにすぐれてくる。次に西原式摩耗試験機にて黒心可鍛鋳鉄、シルジブロンズ、高力 55 および高力 45 焼入材をおのおの固定し、浸炭鋼を回転体として各材質の摩耗量を比較すると、第23図に示すようにシルジブロンズよりもはるかにすぐれた耐摩耗性を示している。

5. 加 工 性

量産加工を行う部品においては、材料の切削性は生産価格に大きく影響し、材料選定上の重要な要素となる。高力可鍛鋳鉄は比較的かたさが高いので、黒心可鍛鋳鉄よりも切削性はおとるがかたさの同じ鋼材よりもはるかに切削しやすいのが特長である。精細な報告は別に行う。

6. 結 言

高力可鍛鋳鉄は引張強さ 50 ~ 80 kg/mm², 疲れ強さ 21 ~ 26 kg/mm² であり、切欠をつけた場合の疲れ強さの低下は少なく、鍛造鋼に匹敵する強さをもっており、しかも焼入性、耐摩耗性、切削性が良好であるので、近時強度部品として非常に広範囲に使用され始めた自動車部品関係のおもなる用途を列挙すると、ギヤーソフトホーク、バルブロッカーアーム、ユニバーサルジョイントヨーク、スピンドルアーム、レバー、ギヤ、カムシャフト、クランクシャフト、デフケース、ホイールハブなどである。

今後高力可鍛鋳鉄の需要はますます増加し、部品の性能向上、生産価格の低減に寄与するものと信じられるので、高力可鍛鋳鉄の諸性質について報告しご批判をこう次第である。