

球状黒鉛鑄鉄の耐摩耗性に及ぼす主要元素の影響

The Effect of Main Elements on Wear Resistance of Ductile Cast Iron

西山 太喜夫* 小池 敬一*
Takio Nishiyama Keiichi Koike

内 容 梗 概

球状黒鉛鑄鉄の C, Si, Mn を C 3.0, 3.5%, Si 2.0, 2.5%, Mn 0.6, 1.0% の二水準に変化し, その耐摩耗性に及ぼす影響を求めた。すなわち, 潤滑状態で滑りおよび転がり摩耗試験を行い, 次の結論を得た。

- (1) C 3.0% と 3.5% の差は転がり摩耗試験では明瞭でないが滑り摩耗では高 C のものが耐摩耗性が良好である。
- (2) Si はその量が大となり組織中にフェライトを生ずれば摩耗量は急増する。また Si 量の増加により黒鉛球が小になることが多く, この場合潤滑作用が少なくなり摩耗量が増加することがある。
- (3) Mn の影響はフェライト量の減少, パーライト量の増加による硬度の上昇, 焼入性の向上などとなつて現われ耐摩耗性を向上する。
- (4) 潤滑状態の転がり摩耗においては球状黒鉛鑄鉄が最も耐摩耗性がよく次いで調質鋼, 片状黒鉛鑄鉄の順である。滑り摩耗では片状黒鉛鑄鉄, 球状黒鉛鑄鉄, 調質鋼の順である。球状黒鉛鑄鉄は普通鑄鉄に比して硬度が高く黒鉛の潤滑作用, 振動の吸収性が不足するからその加工と組合せに注意する必要がある。

1. 緒 言

球状黒鉛鑄鉄の研究の初期に耐摩耗性の問題が採り上げられて⁽¹⁾⁽²⁾以来, 諸所で摩耗試験結果が発表され, 同時に耐摩耗性を要する部品への適用^{(3)~(6)}が行われている。

しかし球状黒鉛鑄鉄の摩耗機構の複雑性と, 実験条件が多岐にわたることのために, 系統的な実験結果は比較的少なく, またその実験結果は必ずしも一致していない。

しかし球状黒鉛鑄鉄は普通鑄鉄に比して硬度と強度が大であり, 同時に黒鉛の潤滑作用を有するから, その使用条件が適切ならば, 良好な耐摩耗性を示すものと考えられる。

この黒鉛の潤滑作用は黒鉛量とその分布, 形状によつて異なり, 基地の硬度と強度は合金元素の含有によつて変化し, その影響は複雑になる。このため本実験では化学成分の変化を C, Si, Mn に限定し, 球状黒鉛鑄鉄を耐摩耗材料として使用する際の基礎資料を得ることを目的とした。摩耗試験は潤滑状態で使用する部品への適用を考え, 潤滑状態の滑り, 転がり摩耗試験を行うこととした。

2. 試料ならびに実験方法

2.1 耐摩耗性に影響する因子

現在までに発表された球状黒鉛鑄鉄の摩耗試験結果を総合すると定性的には次のようにいわれている。

* 日立製作所亀有工場

第1表 C, Si, Mn の目標値

			C	Si	Mn
水	準	1	3.0	2.0	0.6
水	準	2	3.5	2.5	1.0

第2表 C, Si, Mn の組合せ

要 因	C	Si	Mn
実験順			
3	1	1	1
4	1	1	2
—	(1	2	1)
5	1	2	2
6	2	1	1
—	(2	1	2)
1	2	2	1
2	2	2	2

注: 組合せは $2^3 = 8$ 回の実験計画でありこれから () 内の 2 回の実験を省略してある。

(1) 鑄造状態では基地が均一なパーライトであつてフェライト, セメンタイトを析出していないものが耐摩耗材として適当である^{(10)~(12)}。フェライトの析出はその材料自体の摩耗量を増加させ, セメンタイトの析出は組合わされた異種材の摩耗量を増加させる。

(2) 熱処理あるいは合金元素の添加などによつて基地をマルテンサイト, あるいはベイナイトなどとしその硬度⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽²⁰⁾を増加した場合耐摩耗性が向上する。

(3) 基地の強度を減少しない程度に黒鉛量が多く, 黒鉛の球状化が良好で均一に分布している場合, 耐摩耗性が良好である⁽¹²⁾。

(4) 同一黒鉛量において大なる黒鉛を有するものは

小なる黒鉛を有するものに比して耐摩耗性が良好である⁽¹⁵⁾。

2.2 試料の熔製

上述の現在までの研究結果を考慮し、かつ強力鋳鉄の規格などを参照しC, Si, Mn量をそれぞれ2水準に決定した。

その成分の目標値および組合せは第1表および第2表に示す。

第2表記載の試料は50kg塩基性高周波電気炉を用いてダクタイル鉄、鋼屑などを溶解しFe-Si-Mg合金で処理し、A(径30mm)、B(径50mm)押湯付試片に鋳造し、Aより鈴木式摩耗試験片をBよりアムスラー摩耗試験片を採取した。これらの試片の化学分析値を第3表に示す。

摩耗試験は第3表の試料に数種類の比較材を加えて行つた。比較材の材質および成分を第4表に示す。第4表中DCI-55-Cuと示したのは酸性キュポラ溶湯をCu-Mg合金で処理したものであり、このほか普通鋳鉄、鋳鋼および圧延鋼材を加えている。

2.3 試料の熱処理

第3, 4表の球状黒鉛鋳鉄の試料はその化学成分が変化しているため、鋳造状態でセメントライトまたはフェライトを析出したものがあり、こ

第3表 C, Si, Mn を変化した試料の化学分析値

試 番	化 学 分 析 値								
	T.C	G.C	Si	Mn	Cr	P	S	Cu	Mg
D-1-1	3.23	2.21	2.52	0.64	0.02	0.072	0.021	Tr	0.044
D-1-2	3.43	2.27	2.50	0.61	0.02	0.068	0.021	Tr	0.038
D-2-1	3.18	2.43	2.51	1.04	0.04	0.074	0.013	Tr	0.038
D-2-2	3.44	2.78	2.48	0.98	0.04	0.073	0.011	Tr	0.035
D-3-1	2.61	1.84	1.89	0.59	0.03	0.055	0.016	Tr	0.044
D-3-2	2.70	2.07	1.92	0.58	0.03	0.058	0.013	Tr	0.042
D-4-1	2.64	1.87	2.07	1.03	0.02	0.055	0.008	Tr	0.044
D-4-2	2.77	1.84	2.03	1.03	0.03	0.058	0.009	Tr	0.040
D-5-1	2.74	1.84	2.75	1.05	0.03	0.060	0.013	Tr	0.040
D-5-2	2.94	2.22	2.75	1.06	0.02	0.062	0.014	Tr	0.042
D-6-1	3.32	2.67	2.05	0.59	0.03	0.058	0.009	Tr	0.039
D-6-2	3.32	2.43	2.08	0.60	0.02	0.055	0.014	Tr	0.041

試番末尾の—1, —2はそれぞれ鋳造試片B, Aに対応する。

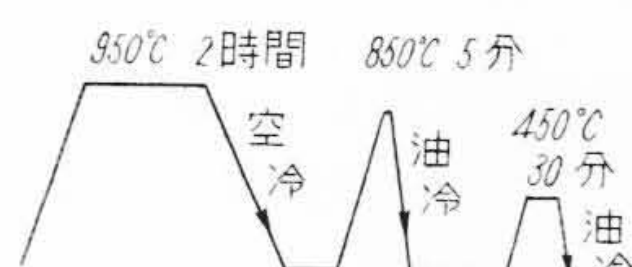
第4表 比較材の化学分析値

試 番	化 学 分 析 値									備 考
	T.C	G.C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mg	
B-781	3.31	2.06	2.86	0.73	0.060	0.018	0.04	0.99	0.040	DCI 55 Cu
F-3	3.32		2.08	0.60	0.055	0.014	0.02	—	—	FC 20

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	備 考	
S-1	0.71	0.27	0.40	0.013	0.014	0.10	—	SK 7	850°C焼入 150°C焼戻
S-3	0.17	0.28	0.71	0.019	0.014	0.18	—	SC 46	900°C焼鈍
S-4	0.29	0.34	0.56	0.022	0.011	1.99	0.44	2% Cr Mo 鋼	950°C焼鈍 950°C焼準 680°C焼戻
S-5	0.28	0.25	0.97	0.024	0.013	0.30	—	歯車用鋳鋼	900°C焼準後 高周波焼入



焼 準



焼 入 焼 戻

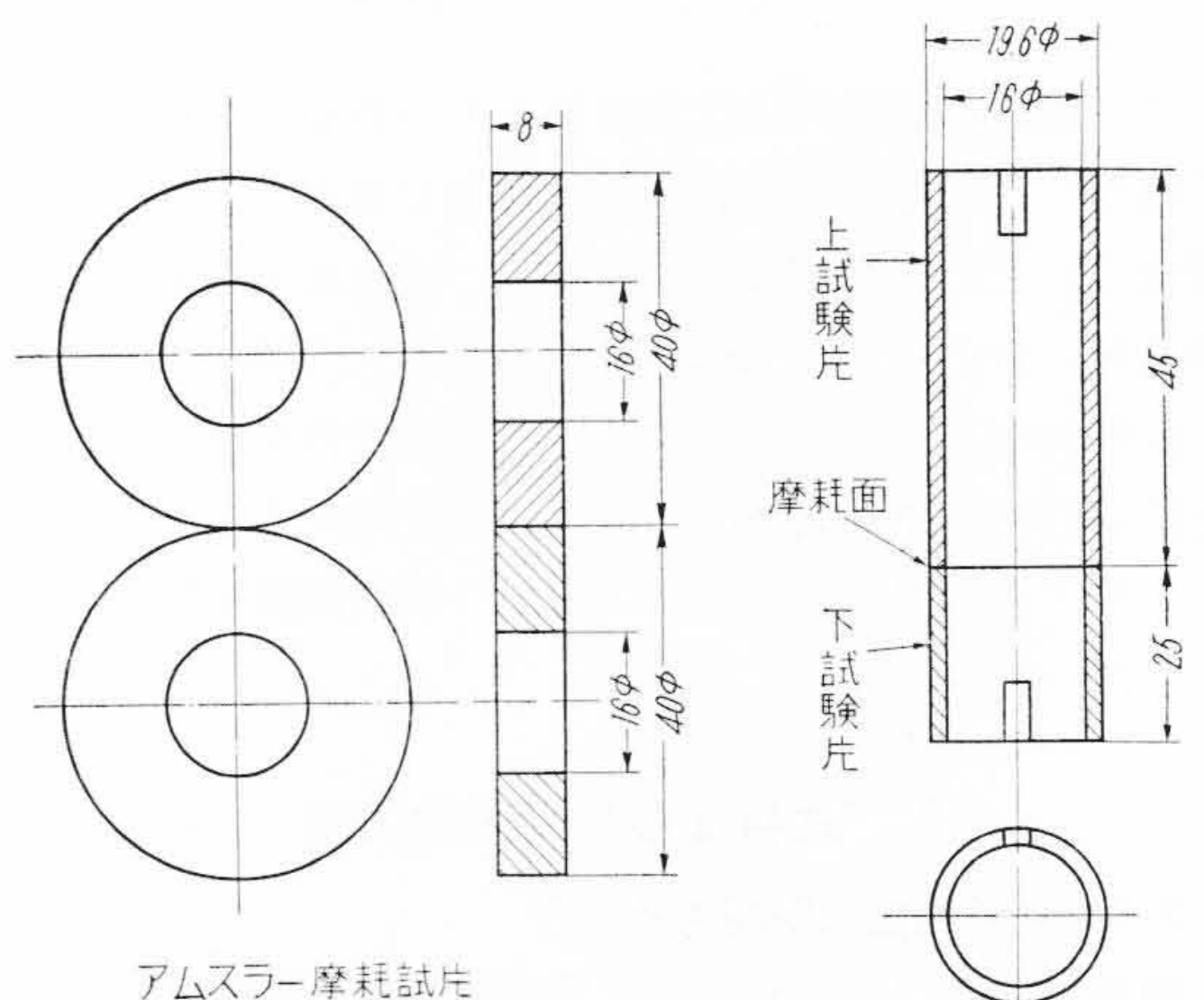


恒 温 焼 入

第1図 球状黒鉛鋳鉄試料の熱処理条件

第5表 摩耗試験条件

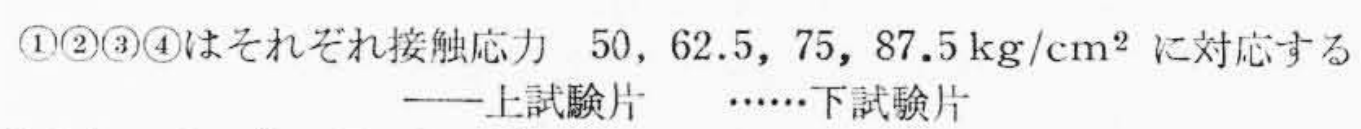
試験機	アムスラー式摩耗試験機	鈴木式摩耗試験機
試験条件		
試験速度	上試験片 324回/分 (40.7m/分) 下試験片 360回/分 (45.3m/分)	上試験片 1,000回/分 (56m/分) 下試験片 固定
滑り率	10%	100%
試験荷重	接触応力 (ヘルツ応力) 50, 62.5, 75, 87.5 kg/cm ²	20, 30 kg/cm ²
摩耗の種類	転がり滑り摩耗	滑り摩耗
潤滑方法	タービン油 No 180 を滴下	タービン油 No 180 を容れた槽中にて実験
摩耗面の加工	アランダム砥石 (No 45) により研摩	アランダム砥石 (No. 90) により研摩

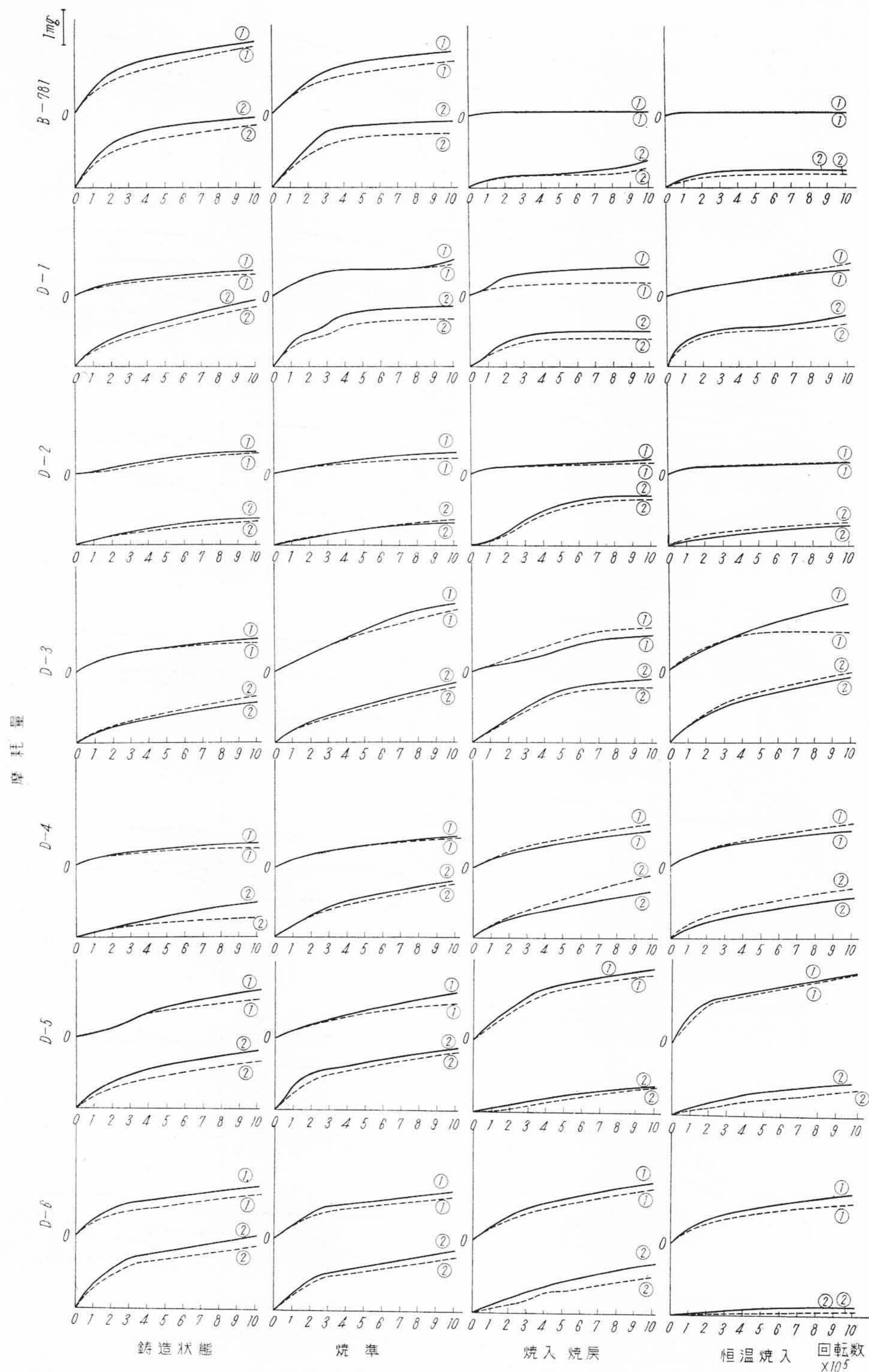


アムスラー摩耗試験片

鈴木式摩耗試験片

第2図 摩耗試験片の形状

 $\times 10^5$



①②はそれぞれ荷重 20kg/cm² 30kg/cm² に対応する —上試験片下試験片

第 4 図 球状黒鉛鑄鉄の滑り摩耗試験結果

れらは凝固時の冷却速度の差によつて試料内の各部でその量が増加している。このような試料で摩耗試験を行うことは誤差の原因となるので焼準 (950°C, 2時間空冷) によつてセメンタイトを分解し、フェライト量を均一化した試料を標準とし、これに、鑄造状態ならびに、焼入焼戻、恒温焼入の処理を行つた試料の摩耗試験結果を比較する方法を採つている。

焼入焼戻、恒温焼入は同一化学成分の試料で、その顕微鏡組織と硬度が変化した場合、その耐摩耗性に及ぼす影響を知るために行つたのである。

これらの熱処理条件を第1図に示す。

2.4 摩耗試験

転がり摩耗試験に対してはアムスラー式摩耗試験機を、滑り摩耗に対しては鈴木式摩耗試験機を使用して潤滑状態で摩耗試験を行つた。この摩耗試験条件を第5表に摩耗試験片の形状を第2図に示す。第5表中転がり摩耗における接触応力の算出は次式によつてゐる。

$$\left\{ \begin{aligned} b &= 4 \left[\frac{P}{\pi l} \left\{ (1-\nu_1^2) \frac{1}{E_1} + (1-\nu_2^2) \frac{1}{E_2} \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &\times \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)^{-\frac{1}{2}} \\ \sigma &= \frac{4}{\pi} \frac{P}{bl} \end{aligned} \right.$$

ここに σ = 最大圧縮応力 b = 接触面の幅

$\nu_1 \nu_2 : E_1 E_2$ = 上下両試験片のポアソン比と弾性係数

$r_1 r_2$ = 上下両試験片の半径 l = 上下両試験片の幅

摩耗試験片のポアソン比と弾性係数は球状黒鉛鋳鉄に対しては $\nu=0.3$ $E=1.7 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 、鋼に対しては $\nu=0.3$ $E=2.2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ の値を採つてゐる。

3. 実験結果ならびにその検討

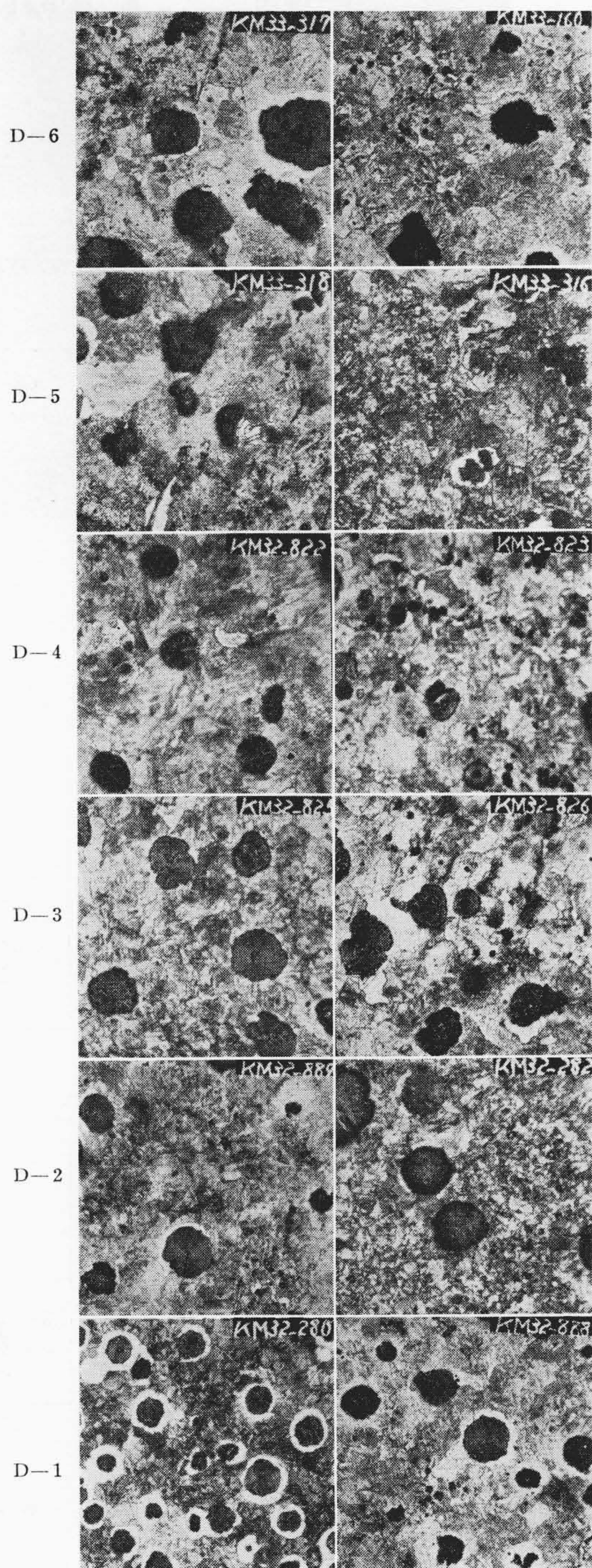
第3図はアムスラー式摩耗試験機による転がり摩耗曲線の形状を示し、第4図に鈴木式摩耗試験機による滑り摩耗曲線の形状を示す。これらはいずれも球状黒鉛鋳鉄の同種摩耗試験の結果である。

第3図の転がり摩耗曲線の最初の部分で摩耗量が大きなる場合があるが、これは試片の縁の影響と考えられ 2×10^4 回までに終了する。ついで初期摩耗と考えられる部分が 2×10^5 回まで続き、以後は定常摩耗に移つてゐる。

第4図の滑り摩耗曲線においては、 4×10^5 回以後に定常摩耗に移ることが曲線の形状から推定される。

第3図の転がり摩耗曲線の定常摩耗部分に対する摩擦係数は接触応力が 50 kg/mm^2 から 87.5 kg/mm^2 に上昇するにつれて 0.06 から 0.08 程度に直線的に増加している。

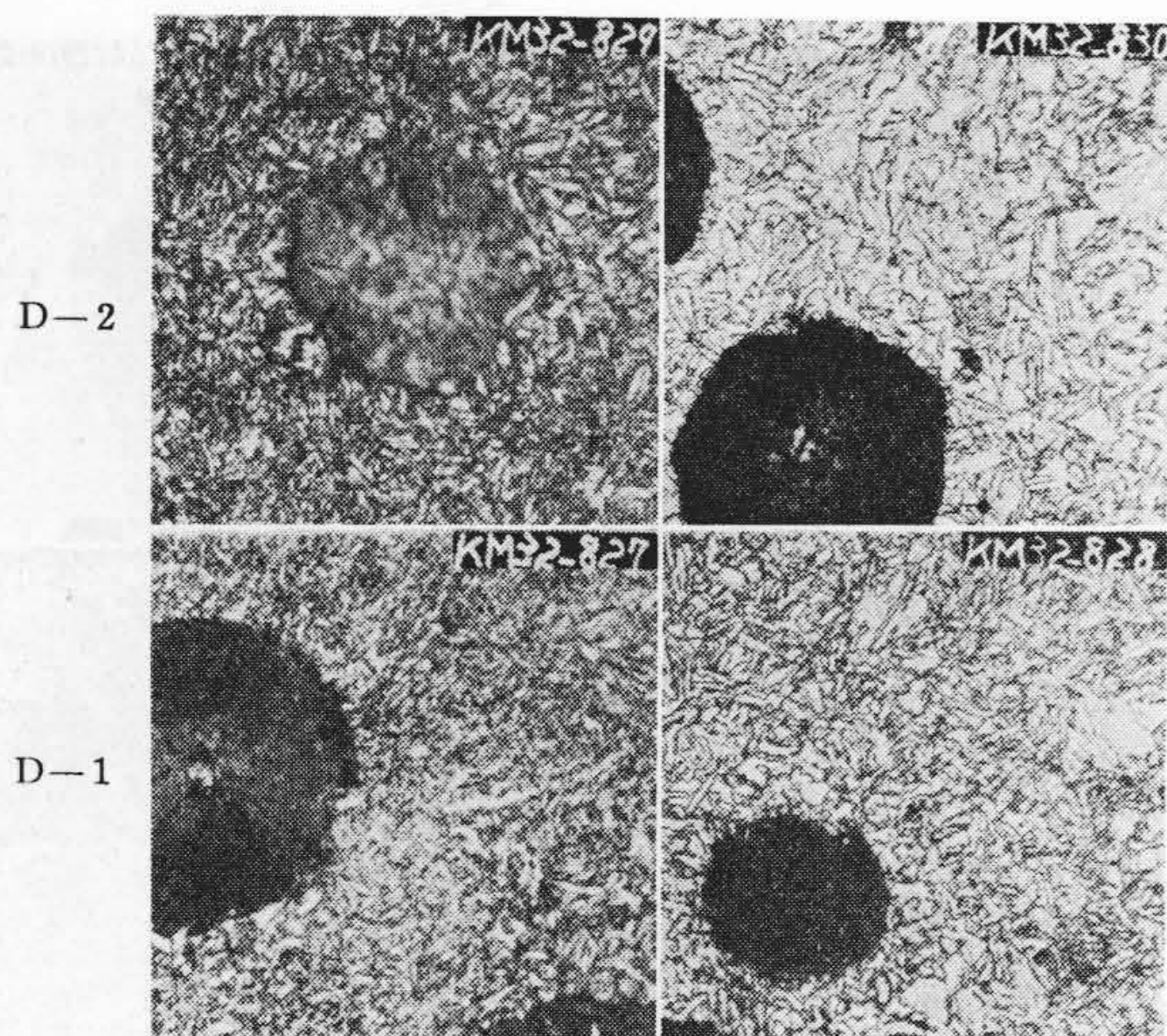
第4図の滑り摩耗曲線の定常摩耗部分に対する摩擦係



(左) 鑄造状態 (右) 焼準 ($\times 100$)
第5図 摩耗試験片の顕微鏡組織

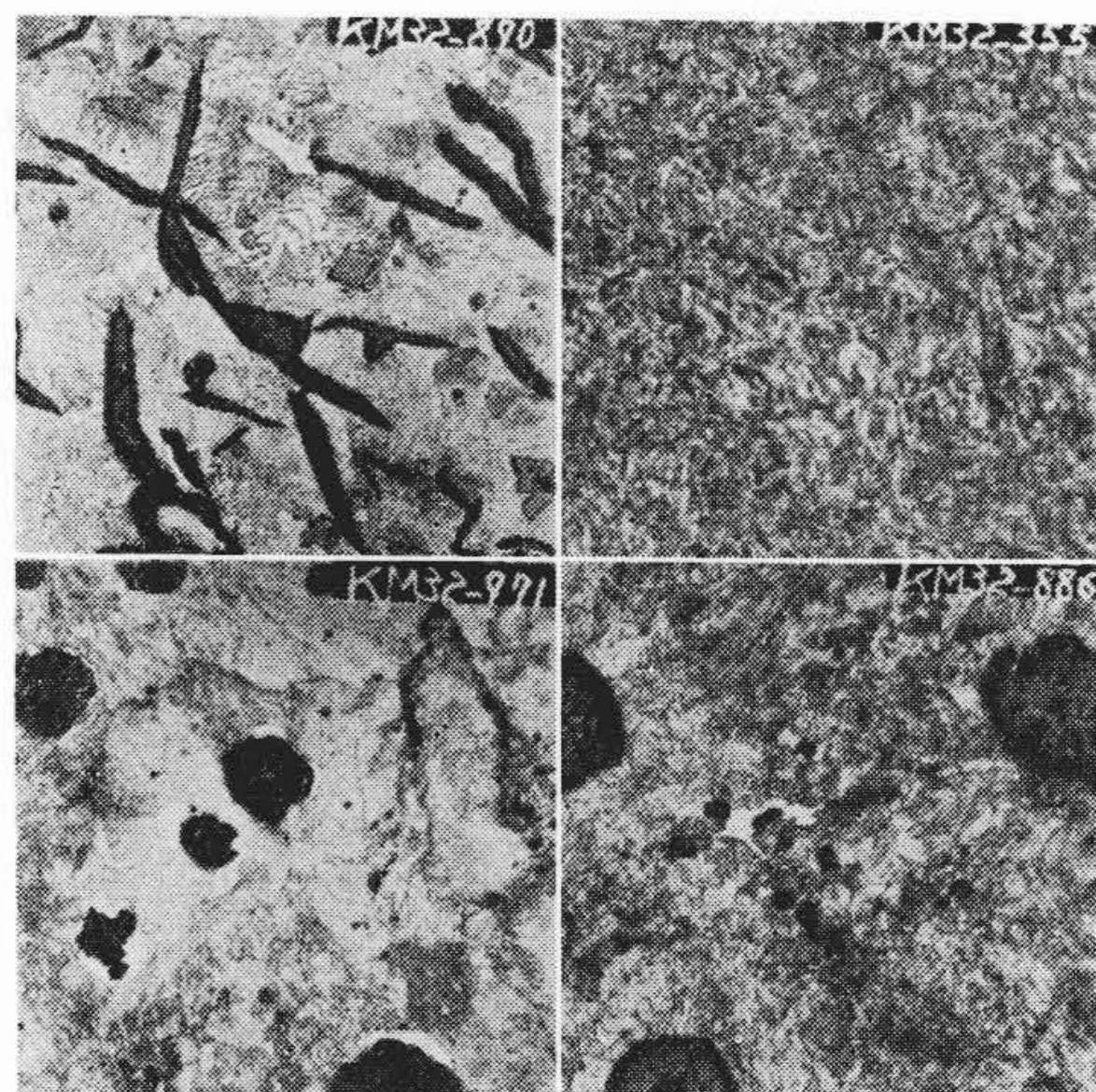
数は荷重 20 kg/cm^2 、および 30 kg/cm^2 の間では差が明らかでなく、0.02~0.06 の間にある。

定常摩耗状態 (転がり摩耗に対して $2 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6$ 回の間、滑り摩耗に対して $4 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6$ 回の間) の



(左) 850°C 焼入 450°C 焼戻 (×400)
(右) 400°C 恒温焼入

第 6 図 摩耗試験片の顕微鏡組織



(左下) DCI55-Cu 鑄造状態 (×100) (左上) FC 20 (×100)
(右下) DCI55-Cu 焼準 (×100) (右上) SK 7 850°C 焼入 150°C 焼戻 (×400)

第 7 図 摩耗試験片の顕微鏡組織

摩耗量を 10^6 回当りに換算すると転がり摩耗では 0.2~1.0 mg のものが多い、フェライトの多い試料に対して 2 mg 程度である。滑り摩耗では 0.2~1.5 mg のものが多いが、摩耗状況によつて増加し 2 mg をこえることもある。

次に各試料の摩耗試験結果と顕微鏡組織 (第 5~7 図) を参照して検討する。

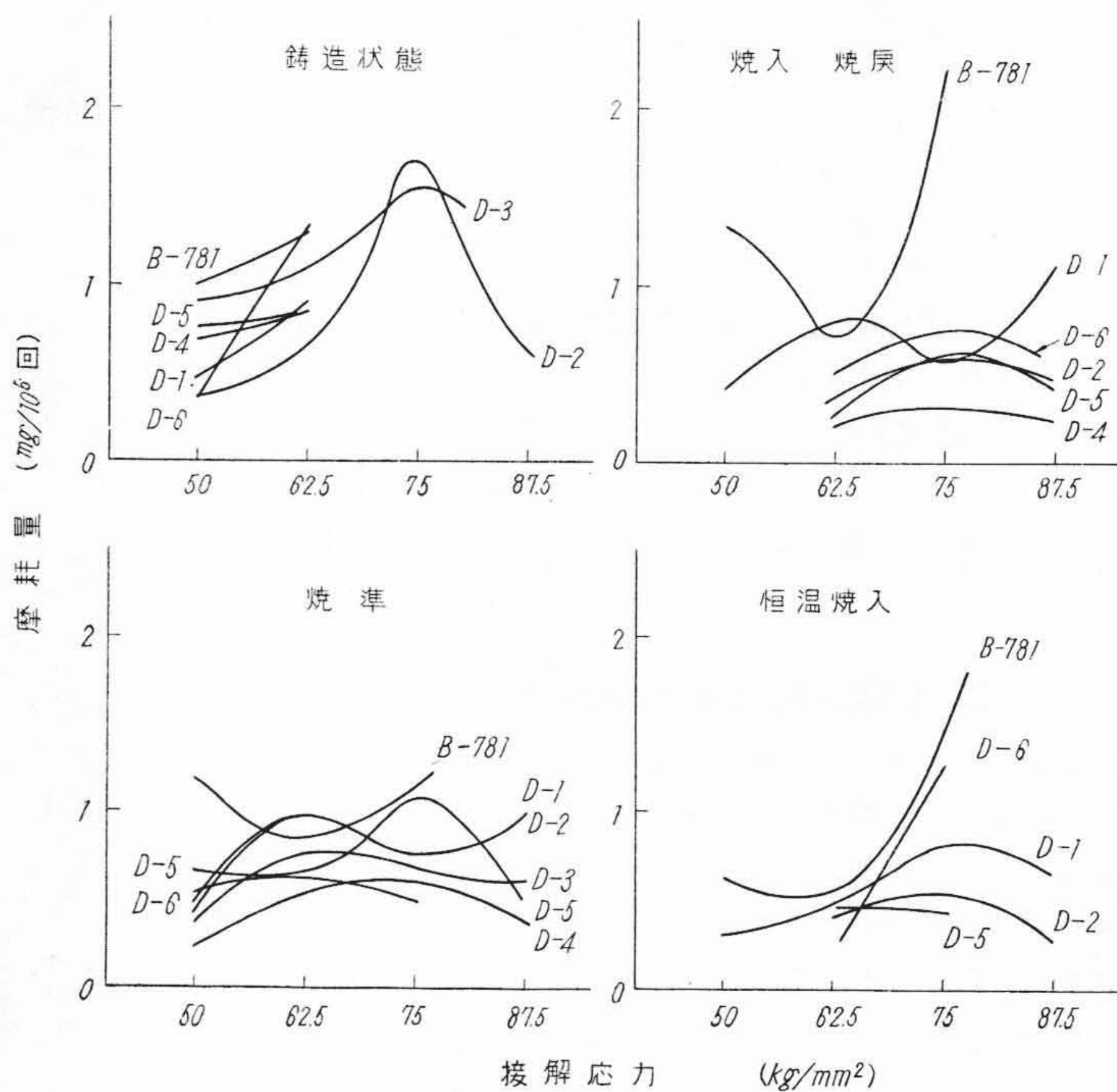
3.1 アムスラー摩耗試験機による転がり摩耗試験結果

B-781 (C 3.3, Si 2.8, Mn 0.7, Cu 1.0): この試料は鑄造状態では黒鉛周囲にフェライトを有する bull's eye 組織であつて摩耗量が大である。焼準状態では黒鉛周囲のフェライトがほとんど消失し、同時に地がソルバイト状の微細なパーライトに変化し摩耗量が少なくなり、異状摩耗の発生もほとんどない。

D-1-1 (C 3.2, Si 2.5, Mn 0.6)

: 鑄造状態においてはフェライトの存在によつて摩耗量が大であり、焼準後も少量のフェライトが黒鉛周囲に存在し、接触応力の高い場合階段状の摩耗曲線を示す。焼入焼戻、恒温焼入試料の組織は残留フェライトがまったく存在せず、均一組織でありこのため耐摩耗性は良好である。

D-2-1 (C 3.2, Si 2.5, Mn 1.0): 鑄造状態のフェライト量は D-1-1 に比して少ない。摩耗曲線は D-1-1 と



第 8 図 転がり摩耗試験における応力と摩耗量の関係

同様の傾向を示すが摩耗量はさらに少なくなっている。また接触応力の大きな場合にも異状摩耗を生ずることはほとんどなくなる。これは D-1-1 に比して Mn 含有量が高いためフェライトの析出がなく、地の硬度も増加したためと考えられる。

D-3-1 (C 2.6, Si 1.9, Mn 0.6) D-4-1 (C 2.6, Si 2.0, Mn 1.0): この試料は低 C, 低 Si であり、このた

め鋳造状態でフェライトを析出することではなく、代つてもセメンタイトを部分的に析出している。このため摩耗量は D-1-1, D-2-1 に比して一般的に少ないが、反面 C 含有量が低いため黒鉛の潤滑作用と試片のなじみやすさが少なくなり、試験開始時の摩擦係数は一般に大である。しかし試験を継続するにつれて摩擦係数は次第に減少し D-1-1, D-2-1 よりいくぶん小なる値をとる場合も多いのであつて、この程度の黒鉛量の減少は潤滑作用に影響を与えず、むしろ黒鉛が脱落して表面が荒れることが少ないため好結果を与えるとも考えられる。

D-5-1 (C 2.7, Si 2.8, Mn 1.0) : この試料は鋳造状態でパーライトに少量のフェライトとセメンタイトを共存する不均一組織であり摩耗量が大であるが、焼準、焼入焼戻、恒温焼入後は均一組織となり、Si, Mn も高いため硬度が高く摩耗量も小となる。

D-6-1 (C 3.3, Si 2.0, Mn 0.6) : 鋳造組織は D-5-1 に比して若干フェライトが多い不均一組織であつて、摩耗量もやや大である。焼準後も少量のフェライトが残存する。焼入焼戻、恒温焼入の試料もフェライトが残留し、Si, Mn が低いため硬度が低く、摩耗量が多い。

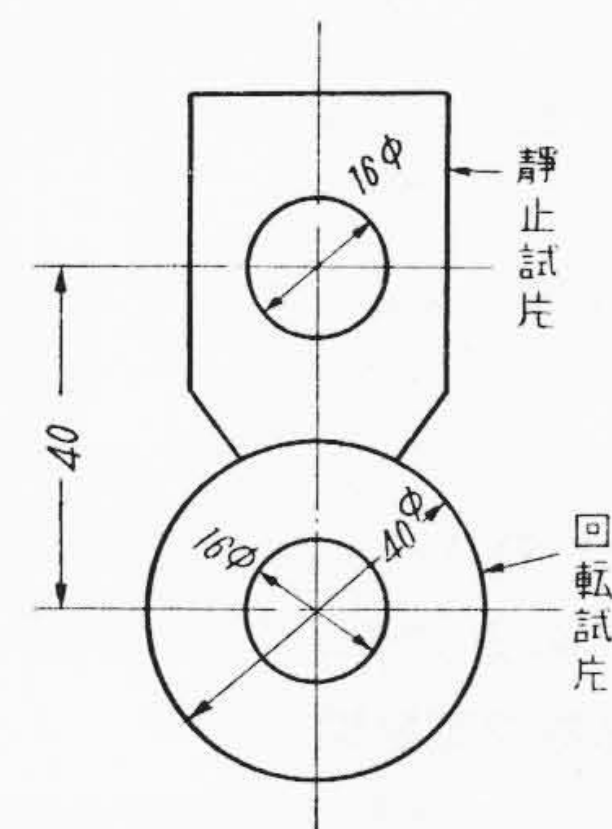
第 8 図 には各熱処理状態に対応する試料の摩耗量と接触応力の関係を示す。第 8 図の鋳造状態と焼準状態を比較すると、焼準によつて最大摩耗量の山が低圧側に移り、また焼準状態においては、一般にフェライト量の大きなものほど最大摩耗量の山が低圧側にある。また焼入

焼戻、恒温焼入を行えば、焼準状態に比して最大摩耗量の山が高圧側に移動している。

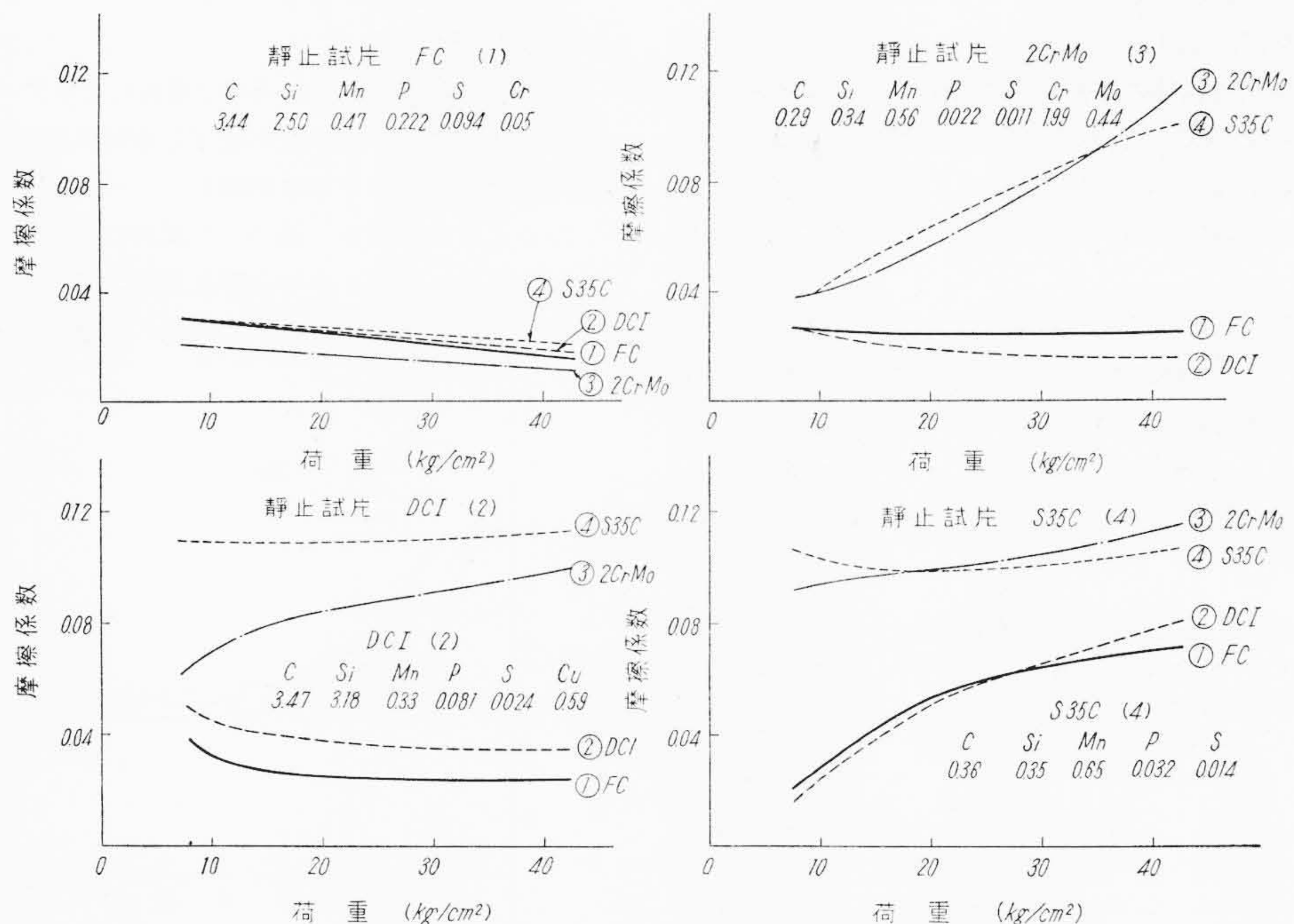
3.2 鈴木式摩耗試験機による滑り摩耗試験結果

B-781 (C 3.3, Si 2.8, Mn 0.7, Cu 1.0) : 鈴木式試験片はアムスラー式試験片に比して径の小さい丸棒 (30φ) から採取しているため、鋳造状態でフェライト量は比較的少ない。焼準、焼入などによりフェライトはまったく消失して均一組織となり、耐摩耗性が向上している。

D-1-2 (C 3.4, Si 2.5, Mn 0.6) : 鋳造状態では組織中にフェライトが存在し、黒鉛球は小である。焼準、焼入焼戻、恒温焼入を行つたものはいずれも同程度の摩耗量を示す。



第 9 図 動摩擦係数測定試片



D-2-2 (C 3.4, Si 2.5, Mn 1.0); D-1-2 に比して鑄造状態のフェライトは少なくなり、地の硬度が増加しているがまだ鑄造状態の摩耗量は大である。各熱処理状態に対応する試料はいずれも D-1-2 に比して摩耗量が小となつてゐる。

D-3-2 (C 2.7, Si 1.9, Mn 0.6) D-4-2 (C 2.8, Si 2.0, Mn 1.0): この試料は鑄造状態にて組織中にセメントライトを含む。このセメントライトは焼準によつて完全に分解するのであるが、同種摩耗では鑄造状態のものがセメントライトの存在によつて摩耗量が少なく、焼準、焼入焼戻、恒温焼入を行つたものの摩耗量が多くなつてゐる。

D-5-2 (C 2.9, Si 2.8, Mn 1.0): この試料は鑄造状態でセメントライトを含み、焼準によつて分解しパーライト組織となる。このため鑄造状態の摩耗量は焼準状態より少ない。焼入を行えば摩耗量は Si 量の低い D-4-2 よりも少なくなる。

D-6-2 (C 3.3, Si 2.0, Mn 0.6): この試料は鑄造状態でフェライトを有し、焼準によつてその量が減少する。D-1-2 と比較すると、鑄造、焼準状態ではフェライト量の差により D-1-2 の摩耗量が多いが焼入後は Si 量の高い D-1-2 の方が摩耗量が小となつてゐる。

3.3 動摩擦係数測定結果

摩耗試験中の試片の摩擦係数の測定値は、接触面の状態が刻々変化するため定常摩耗状態が長く続く試料を除いては摩擦係数を正確に測定することは困難である。このため第 9 図に示す試片を用い別途にアムスラー摩耗試験機により潤滑状態の摩擦係数を測定した。試験材質は片状黒鉛鑄鉄 (FC), 球状黒鉛鑄鉄 (DCI), 炭素鋼圧延材 (S 35 C), 2% Cr-Mo 鑄鋼 (2 Cr-Mo) でありこれを組合せて測定した。この結果は第 10 図に示してある。

第 10 図 から摩擦係数の小なる場合、その組合せの一方は FC または DCI であつて、黒鉛の潤滑作用が存在したため摩擦係数が小となつたものと考えられる。

これに反して S 35 C を組合せの一方とした場合はいずれも摩擦係数が大であり、これは S 35 C をその組織

中に部分的にフェライトを有する圧延状態で使用したためと考えられる。

また DCI を静止試片としてこれに 2 Cr-Mo の回転試片を組合せた場合⁽ⁱ⁾ は摩擦係数が大であるが、その組合せを逆にした場合⁽ⁱⁱ⁾ (2Cr-Mo 静止試片に DCI 回転試片の組合せ) では摩擦係数が小である。

これは油潤滑状態の差によるものと考えられる。すなわち (ii) の場合は回転試片の球状黒鉛が油膜でおおわれた状態で接触を続けるに反し、(i) の場合は回転試片に黒鉛がないため接触面で油膜が切れやすい傾向があると考えられる。以上のように摩擦係数はその組合せ、潤滑状態などによつて変化することが認められた。

4. 考 察

4.1 化学成分の影響

C, Si, Mn 量の摩耗量に及ぼす影響を知るため、第 6 表に示す組合せに従つて C, Si, Mn の影響を検討した。

この場合転がり摩耗試験では機械的摩耗が行われていると考えられる接触応力 62.5 kg/mm^2 の場合の摩耗量を取り、滑り摩耗では荷重 20 kg/cm^2 , 30 kg/cm^2 に対する摩耗量をとつてゐる。

4.1.1 C の 影 響

転がり摩耗の場合には C 3.0% と C 3.5% の差は摩耗量に表われていない。しかし滑り摩耗では C の増加によつて摩耗量が減少している。

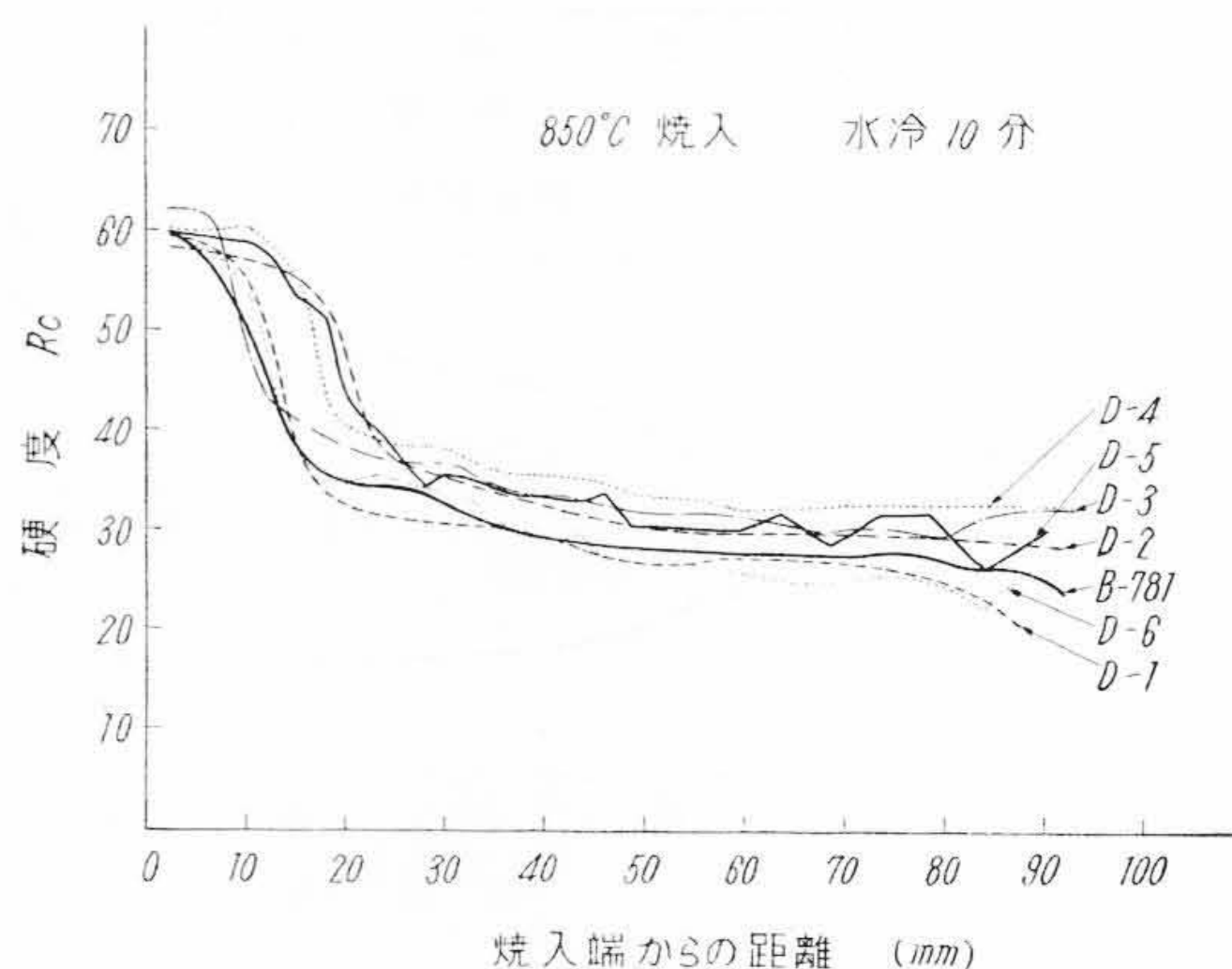
4.1.2 Si の 影 響

転がり摩耗の場合、Si の増加によりフェライトが析出すれば、弾性係数が低下し摩耗試験中にフェライト組織の部分が早期に剥離して、ピッチングの原因を作ると考えられる。高 Si の試料は黒鉛粒が小であることが多いが、この場合摩耗面の流動層が黒鉛をおおつて潤滑作用を妨げ、また黒鉛の脱落孔に潤滑油が保

第 6 表 C, Si, Mn の影響を知るための組合せ
C₁ C₂, S₁ S₂, M₁ M₂ はそれぞれ C, Si, Mn の水準を示す。

	C の影響			Si の影響			Mn の影響	
	C ₁	C ₂		S ₁	S ₂		M ₁	M ₂
S ₁ M ₁	D-3	D-6	C ₁ M ₂	D-4	D-5	C ₁ S ₁	D-3	D-4
S ₂ M ₂	D-5	D-2	C ₂ M ₁	D-6	D-1	C ₂ S ₂	D-1	D-2

C₁C₂, S₁S₂, M₁M₂ はそれぞれ C, Si, Mn の第 1 水準および第 2 水準をあらわす

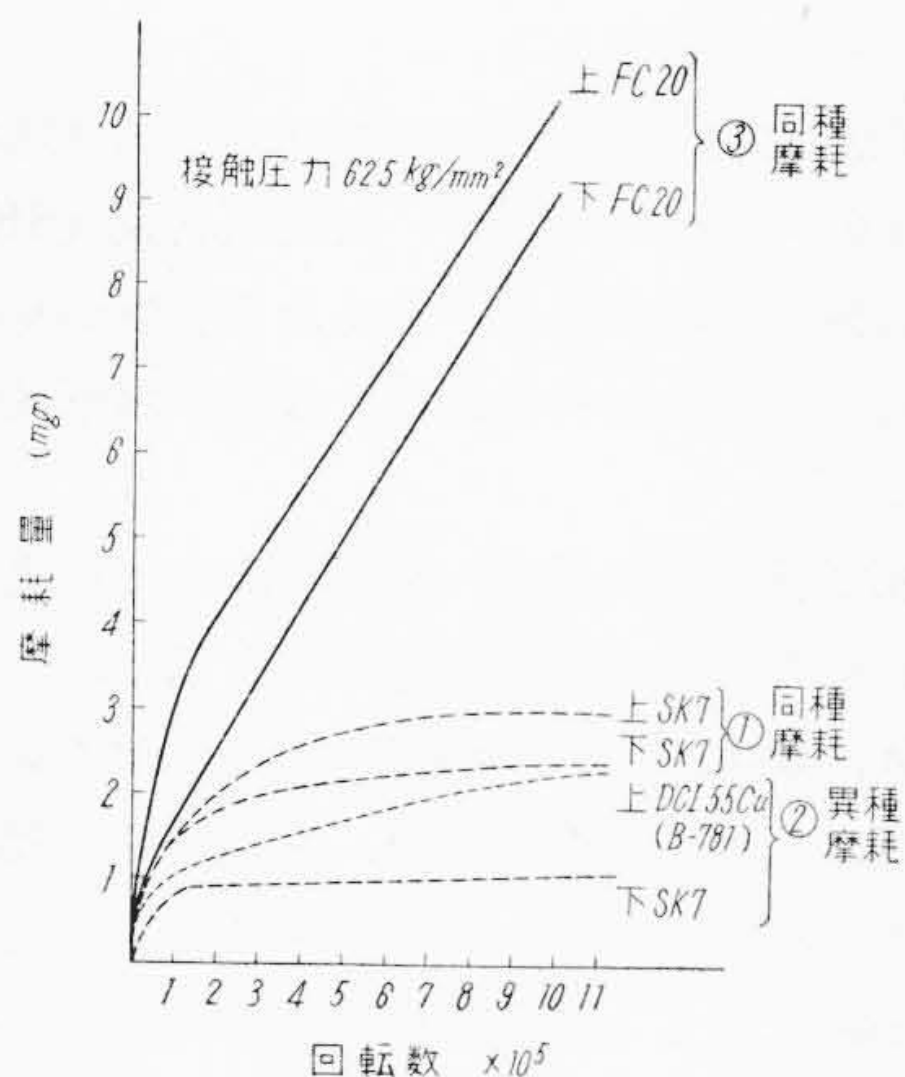


第 11 図 ジョミニー試片による焼入性試験結果

第7表 摩耗試験片の硬度

試 番	硬 度 Rc (Hs)			
	鋳造状態	焼 準	焼入焼戻	恒温焼入
D- 1	23 (35)	27 (40)	42 (55)	26 (38)
D- 2	31 (43)	30 (42)	46 (59)	30 (40)
D- 3	22 (36)	27 (37)	48 (62)	37 (46)
D- 4	26 (37)	32 (33)	49 (64)	35 (45)
D- 5	25 (35)	31 (41)	47 (60)	38 (50)
D- 6	23 (35)	29 (41)	46 (58)	29 (40)
B-781	25 (40)	27 (43)	43 (56)	41 (52)

試 番	硬 度 Rc (Hs)	備 考
F - 1	9 (32)	FC 20 鋳造状態
S - 1	43 (54)	SK 7 焼入焼戻
S - 3	7 (22)	SC 46 焼 鈍
S - 4	8 (24)	2Cr Mo 焼 準
S - 5	60 (73)	歯車用鋳鋼 高周波焼入



① SK 7-SK 7 ② DCI 55 Cu-SK 7 ③ FC 20-FC 20

第12図 転がり摩耗試験結果

持されることがなくなる結果摩耗量が増加することもあると考えられる。

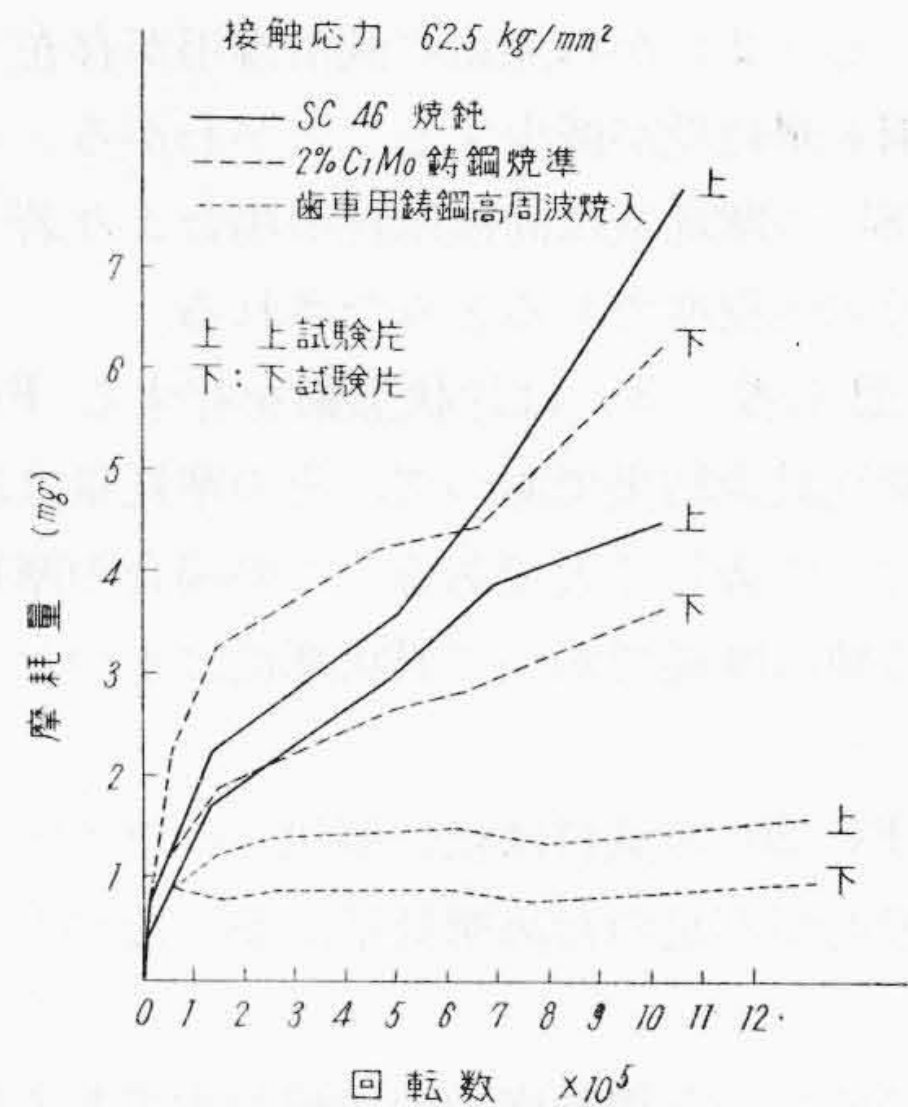
滑り摩耗試験で高 Si の焼入焼戻、恒温焼入などの場合の摩耗量が小であるが、これは高 Si のためセメントイトが分解し、同種摩耗に好結果を示したものと考えられる。

4.1.3 Mn の影響

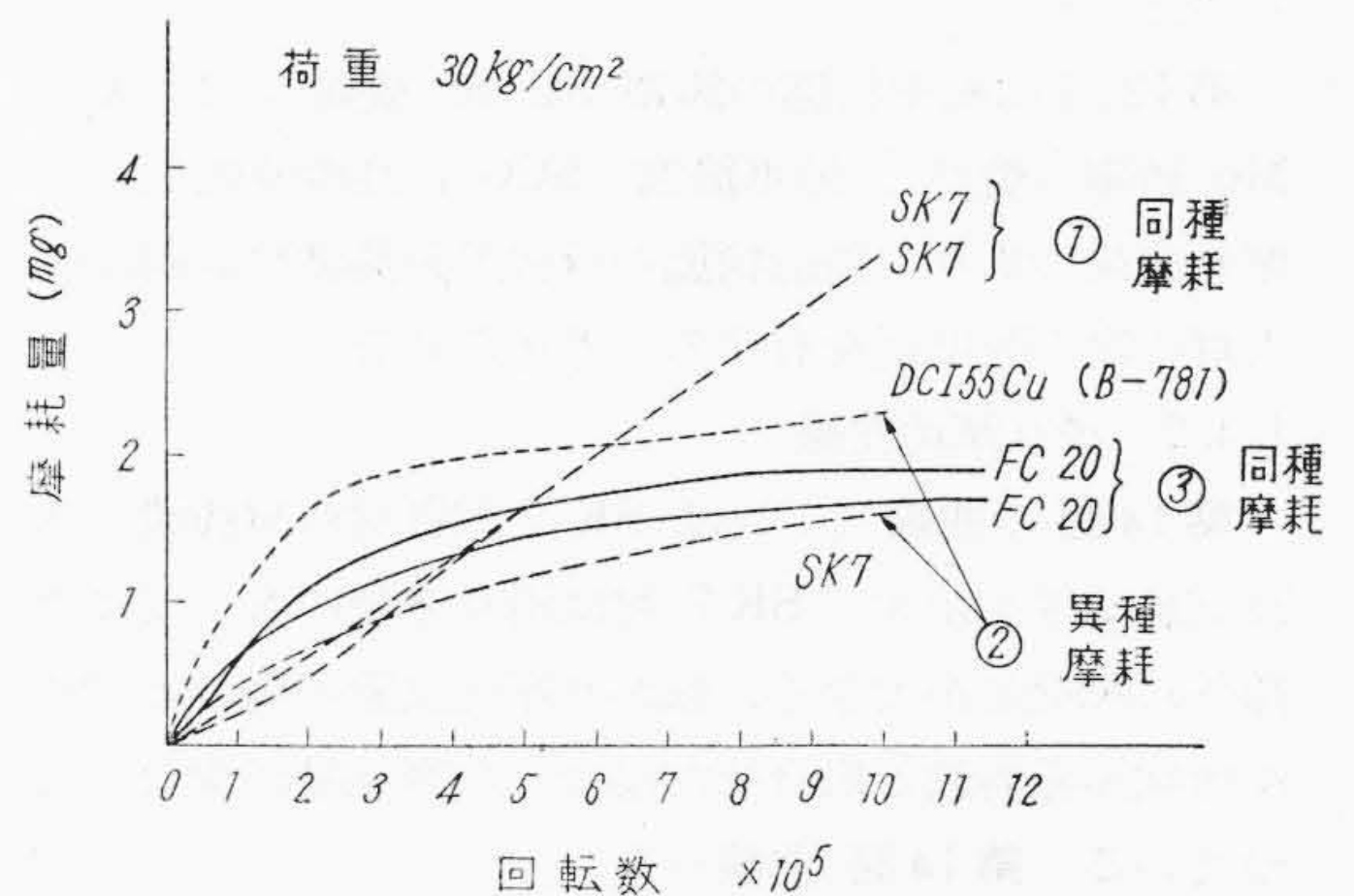
転がり摩耗において Mn の増加は地の硬度を増加し、熱入性を向上し摩耗量を減少しその影響は主要元素の中では最も著しい。しかし滑り摩耗に対しては Mn の影響は明瞭でなく、硬度が増加するため試片のなじみが悪くなり、摩耗量が増加する場合も生ずると考えられる。

4.2 熱処理の影響

第11図はジョミニー試験片を使用した焼入試験結果であり Mn の添加によつて最高硬度、焼入深さはともに増加しているが Si の影響は明瞭ではない。



比較材(鋳鋼)同種摩耗
第13図 転がり摩耗試験結果



① SK7-SK7 ② DCI 55 Cu-SK 7 ③ FC 20-FC 20

第14図 比較材の滑り摩耗試験結果

4.3 硬度と摩耗量との関係

第7表に摩耗試験片の硬度を示す。同種転がり摩耗試験において、耐摩耗性は硬度の増加とともに向上している。しかし組織が変化すれば、第8図に示したとおり最大摩耗量を生ずる条件が変化し硬度と耐摩耗性は必ずしも比例しなくなる。

同種滑り摩耗試験では、硬度の上昇とともに摩耗量が増加する例が多く、摩擦面のなじみの問題が大きく影響していると考えられる。

4.4 他種材料の摩耗曲線との比較

4.4.1 転がり摩耗曲線

第12図の曲線(1)は炭素工具鋼 SK 7 調質材(比較材)の同種摩耗試験結果である。曲線1から SK 7 材は定常摩耗に移るまでに長時間を要し、定常摩耗に移つてからの 10^6 回付近の摩耗量も比較的大である。

第12図曲線(2)は SK 7 材と球状黒鉛鋳鉄 DCI Cu (B-781) を組合せた異種摩耗試験結果である。曲

線 (1) と (2) から黒鉛の潤滑作用が存在すれば炭素工具鋼も摩耗量が減少することがわかる。この場合の B-781 の摩耗量は同種摩耗の場合より若干大であるが、大体同程度であるとみなされる。

第 12 図 曲線 (3) は片状黒鉛を有する FC-20 材の同種摩耗試験結果であつて、その摩耗量は球状黒鉛鑄鉄に比して著しく大である。この場合の摩耗状況はいわゆる輝面摩耗であつて異状摩耗はまったく認められなかつた。

この FC-20 の試料は粗い層状パーライトを有し、基地の強度が不足のため摩耗量が多くなつたものと考えられる。

以上の結果から接触応力の比較的大である転がり滑り摩耗においては基地の強度が大であり、同時に黒鉛の潤滑作用を有する球状黒鉛鑄鉄の使用が有利であると考えられる。

第 13 図 は標準状態の鑄鋼 SC 46 (焼鈍), 2% Cr-Mo 鑄鋼 (焼準), 歯車鑄鋼 (SCG_{1A} 高周波焼入) の摩耗曲線であり、鑄造状態の球状黒鉛鑄鉄は高周波焼入材に次ぐ耐摩耗を有すると考えられる。

4.4.2 滑り摩耗曲線

第 14 図 の曲線 (1) は SK 7 調質材の同種滑り摩耗試験結果を示す。SK 7 材は滑り摩耗においては予想外に摩耗量が大きく、転がり摩耗試験の場合と同様に球状黒鉛鑄鉄と組合せた場合その摩耗量が少なくなつてゐる (第 14 図 曲線-(2))。

曲線 (3) は片状黒鉛鑄鉄の同種摩耗試験結果を示す。片状黒鉛鑄鉄は初期摩耗から滑らかな曲線を描いて定常摩耗に移行している。片状黒鉛鑄鉄は地の強度が比較的に小であり、なじみやすいこと、機械的な振動の吸収能が大であること、黒鉛の潤滑作用が大であることなど、比較的軽荷重の摩耗試験において有利な特質を有すると考えられる。

球状黒鉛鑄鉄は黒鉛の潤滑作用によつて鋼よりも摩耗量が少なくなる可能性はあるが、片状黒鉛鑄鉄に比して硬度が高いためになじみがたく⁽²¹⁾、球状黒鉛が脱落しやすいためその潤滑作用が不足すると考えられる。また初期摩耗の間に試料の縁の部分から異状摩耗を生じた例があり、球状黒鉛鑄鉄を滑り摩耗部分に使用するには、接触面の加工、組合せる材質、潤滑状態などに注意し、かつなじみ運転を注意して行う必要があると考える。

5. 結 言

球状黒鉛鑄鉄の耐摩耗性に及ぼす、C, Si, Mn の影響を知るため C 3.0, 3.5%, Si 2.0, 2.5%, Mn 0.6, 1.0% の各 2 水準に変化した試料を用いて摩耗試験を行

つた。この結果を取りまとめると次のとおりである。

(1) 球状黒鉛鑄鉄の基地中にフェライトが存在することは耐摩耗材として好ましくないことはすでに知られていたが、化学成分および熱処理によつてフェライト量を変化させた本報告中の実験によつて確認された。

(2) 摩耗試験結果に及ぼす C の影響は C 3.5% と 3.0% では大差なく、比較的軽圧の滑り摩耗の場合には高炭素のものが有利であると考えられる。

(3) Mn の影響はフェライト量の減少、パーライト量の増加による硬度の昇、焼入性の向上となつて現われ摩耗量を減少する。

(4) Si の影響は遊離フェライトを析出しなければ、Mn と同様に地の硬度を増加し、耐摩耗性を向上する。しかし Si が高くなると黒鉛が小となり耐摩耗性を低下させる場合がある。

(5) 潤滑状態の同種転がり摩耗の際には球状黒鉛鑄鉄が最も耐摩耗性が良好で、炭素工具鋼 (SK 7), 片状黒鉛鑄鉄の順に摩耗量が多くなる。転がり摩耗では潤滑作用のほかに材料の硬度と強度が耐摩耗性に影響する。

(6) 潤滑状態の同種滑り摩耗の際には片状黒鉛鑄鉄が耐摩耗材として最も適当な性質を示し、ついで球状黒鉛鑄鉄、炭素工具鋼 (SK 7) という順である。球状黒鉛鑄鉄はなじみがたいため、初期摩耗の間に異常摩耗を生ずる場合があり、潤滑剤を適当に選択するか、片状黒鉛鑄鉄などと組合せて使用することが必要と考えられる。

(7) 摩擦係数測定結果では片状黒鉛鑄鉄の摩擦係数が最小であり、他種の材料と組合せた場合もその値が小であるが、球状黒鉛鑄鉄と他種材料と組合せた場合、その摩擦係数は必ずしも小とならない。これは球状黒鉛鑄鉄の油膜保持作用が片状黒鉛鑄鉄に劣るためと考えられ、この点注意する必要がある。また球状黒鉛鑄鉄に関しては顕微鏡組織中にフェライトを析出しているものが摩擦係数が大である。

以上球状黒鉛鑄鉄の耐摩耗性に関して行つた実験結果について述べた。もちろん、この問題は、摩耗機構的にも複雑な要素を含み、その解明にはなお時日を要すると考えられる。今後はさらに使用目的に応じた試験も行いたいと考えており、この点につき御指示を賜われれば幸である。

終りに種々御教示を賜つた村上武次郎博士に紙上をもつて深甚の謝意を表し、試料の提供をいただいた日立製作所亀有工場鑄造課、鋼課ならびに実験に協力された研究課内の各位に感謝をささげる。

参考文献

- (1) G. Vennerholm & H. Bagart: Foundry Trade Journal 88 (1950)
- (2) C. O. Burgess: Foundry 77 (1949)
- (3) T. E. Eagan: Steel 72 Vol. 127 (1950)
- (4) C. M. Schwetter: Machinery Dec. (1950)
- (5) J. P. Sheley: Iron Age 99 May 11 (1951)
- (6) K. Löhberg: Stahl u. Eisen 73 (1953)
- (7) P. A. Heller u. W. Glaser: Giesserei 505 (1956) Aug. 30
- (8) M. Ballay, R. Chavay, J. Grilliat: Foundry Trade Journal 91. 125 (1954)
- (9) E. Piwowarsky: Giesserei 29 (1950)
- (10) 小川: 日本金属学会誌 435 (1951)
- (11) 小川: 日本金属学会誌 383 (1952)
- (12) 斎藤, 岡林, 田中: 日本金属学会誌 404 (1952)
- (13) 小川: 日本金属学会誌 407 (1953)
- (14) 小川: 日本機械学会誌 430 (1954)
- (15) 高瀬, 中村: 日本金属学会誌 74 (1956)
- (16) 司馬: 日本金属学会分科会報告 (1954)
- (17) 西原: 日本機械学会論文集 (第5巻) (1939)
- (18) 谷村: 球状黒鉛鑄鉄の研究 II 223 (1954)
- (19) 若本, 岡林: 球状黒鉛鑄鉄の研究 II 254 (1954)
- (20) 葉山: 球状黒鉛鑄鉄の研究 I 66 (1952)
- (21) 和栗, 上野: 日本機械学会講演予稿 (1957)



大型鍛造用型鋼

日立製作所水戸工場で製造している鍛造用型鋼の代表的一例として自動車部品用の大型型鋼 (450mm×500mm×1,400mm) の概略を次に示す。確性試験結果の一部は下表のようなもので輸入品として著名な Heppen Stahl や Finkel 社製と同等の成績を示した。

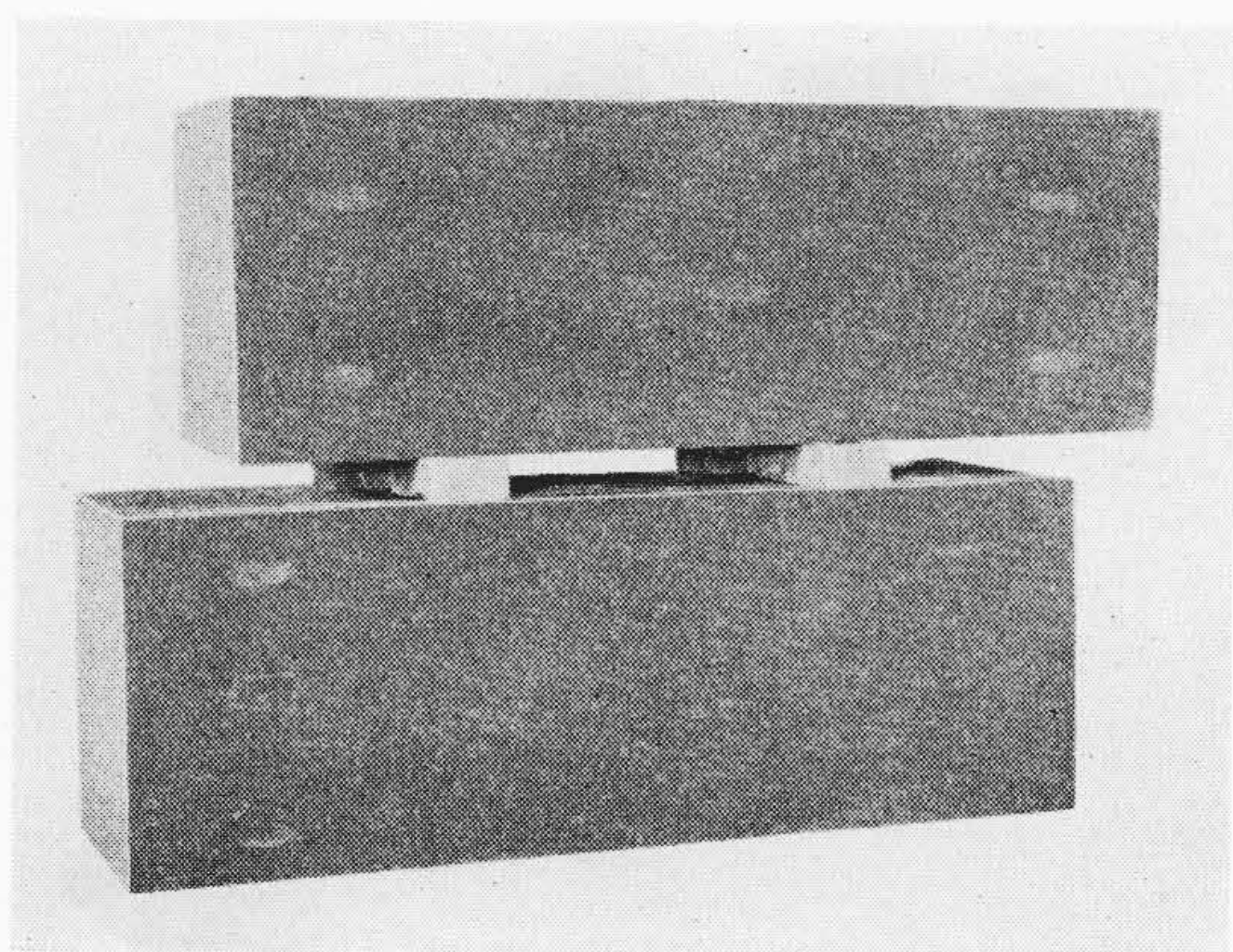
鋼種 SKF-6 (商品名 SKT-4h)

硬さ HB 285~321

確性試験成績

採取位置	抗張力 (kg/mm ²)	降伏点 (kg/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	硬さ (HB)	衝撃値 (kg-m/cm ²)		
						X	Y	Z
外層	103.9	90.9	20.6	50.0	302	8.6	7.9	8.9
内層	103.6	87.7	20.8	52.0	302	6.8	6.5	6.5

第1図は熱処理を終った荒削品を示す。



第1図 大型鍛造用型鋼



新肌焼鋼 YGMI の製品化なる

自動車部品に使用される特殊鋼は機械構造用炭素鋼, 強靱鋼, 肌焼鋼が主なるものであるが, 特に重要な部分を占めるギヤ類の多くは肌焼鋼を使用している。ギヤ材用肌焼鋼として要求される性質は次のとおりである。すなわち, (1) 熱処理による変形が少ないこと, (2) 強度の大なること, (3) 耐摩耗性の大きいこと, (4) 被切削性の良好なこと, (5) 廉価であること。

日立金属工業株式会社安来工場においてはこれらの性質を満足する鋼を得るために研究を続行していたが, ついにこれらの諸点を満たす新しい肌焼鋼の確立をみるに至った。

従来強力ギヤ材として用いられてきた Ni-Cr-(Mo) 肌焼鋼 (SNC22, SNCM25) に代るものとして将来性を高く評価されている。

YGMI の特長を示す一例として, 熱処理による変形量と機械的性質を SNC22 と比較すれば次のとおりである。たとえば歯車の内径変形量が従来の SNC22 の場合 99μ のものが本鋼では 67μ であり, 外径変形量が 37μ のものが本鋼では 1μ という大差を示す。機械的性質もまたはるかに良好である。

	抗張力 (kg/mm ²)	降伏点 (kg/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	衝撃値 (kgm/cm ²)	硬度 (HB)
YGMI	148	134	14	47	8	401
SNC22	132	117	17	50	11	375
SNCM25	134	122	14	48	9	375

そのほか滲炭性, 焼入性が大きく, 大型ギヤ材として適するほか, 高温における結晶粒の生長, 直接焼入による機械的性質の劣化も少ないので, ガス滲炭用としても適するすぐれた材料である。

精密ダイカストの一例について

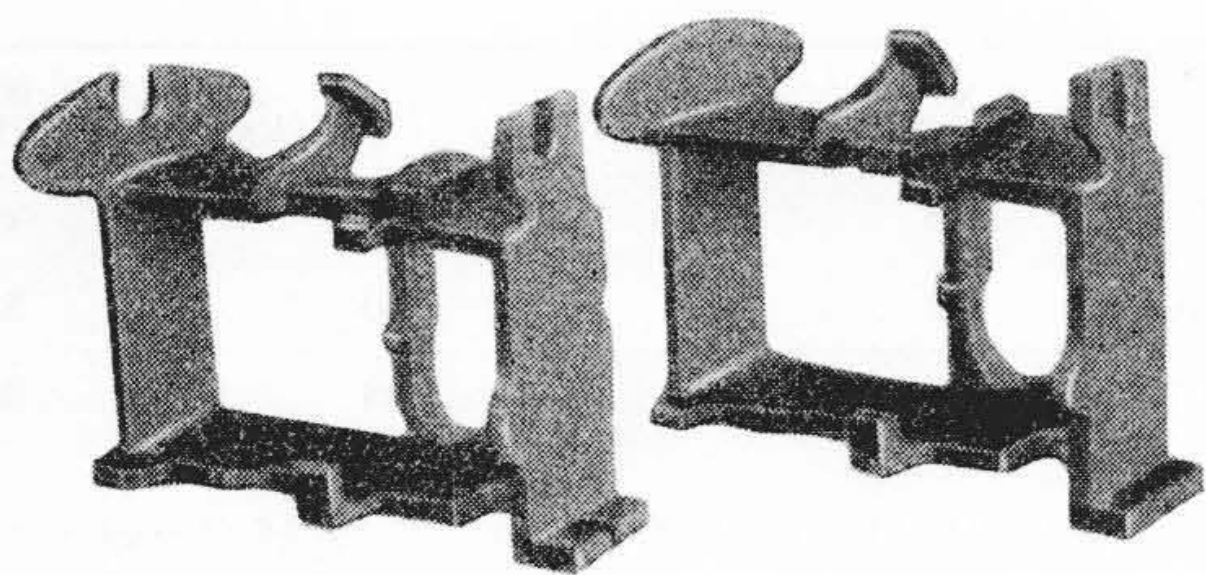
ダイカストが量産的で精度向上、原価低減、互換性などにいかに有利であるかを鋳鉄からダイカスト化に成功したストロージャ式自動交換機の主要部分を占める上昇回転スイッチのフレームについて紹介する。

1. 材料の成分管理

亜鉛合金中鉛錫カドミなどの不純物が粒間腐蝕の素因となることは、すでに周知の事実でこれらの成分検査にポーログラフによる分析値をつけられた 99.99% 以上の高純度亜鉛を同製品は用いるが、なおロットごとに検査員により熔融鍋より材料が抜きとられ分光分析により定性確認が行われる。このほか内部組織検査は試作に際して巣の有無をX線透視によつて鑄造方案が決定される。同製品の場合、重量検査により巣孔の径、および巣孔の径の面積の総和が任意の裁断面の $x\%$ をこえてはならないと指定があるが実際量産用の場合、製品のばらつきはわずかに $\pm 0.3\%$ にすぎない。

2. 製品の精度管理

鑄造における寸法の精度およびばらつきは第1図に示す。これは鑄放しのものと、それを 95°C の温度で10時間の人工安定処理を行つた測定値で測定箇所は 144.3 mm の全長寸法でこれが第一級の精度であることは(米)ダイカスト協会の寸法公差 ADCI-EI-55T と比較してもわかる。また時効ひずみによる寸法変化は400日を経過しても最大変化量がわずかに 0.047 mm で原寸に対しては約 $1/3,000$ にすぎない記録をみてもその安定度を推察しうるであろう。この製品の精度保証のための専用ゲージは30本をこえる。



第2図 鋳鉄製のスイッチフレーム
左は仕上加工完のフレーム
右は未加工のもの

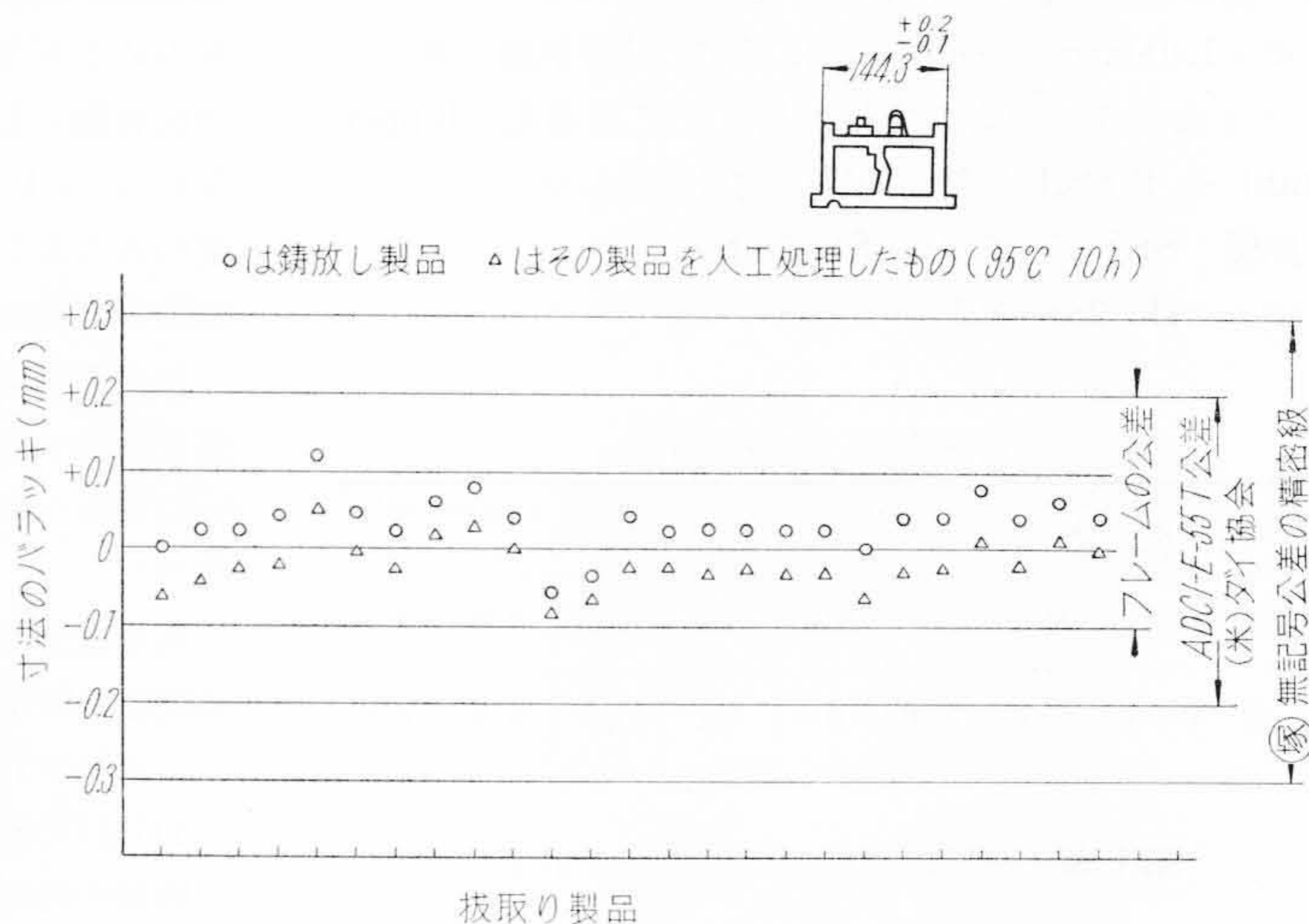
3. その他

この製品の寿命試験すなわち対摩耗試験については問題はない⁽¹⁾。また表面処理はボンデライトを行つた後 $120\sim 130^{\circ}\text{C}$ でメラミン塗装をするが加熱時の組織変化については加熱真空炉の実験によつても常温、 $130, 180^{\circ}\text{C}$ においてもなんら粒子の移動が見受けられないことを確認した。なお鑄肌の表面粗さはその製品がサウンドネスダイカストであるならば触針法をたよらず精度の高い光波干渉計による干渉縞により判定しうる。スイッチフレームは良い面で 0.5μ 悪い鑄肌面で大体 $1.5\sim 2.0\mu$ 程度である。

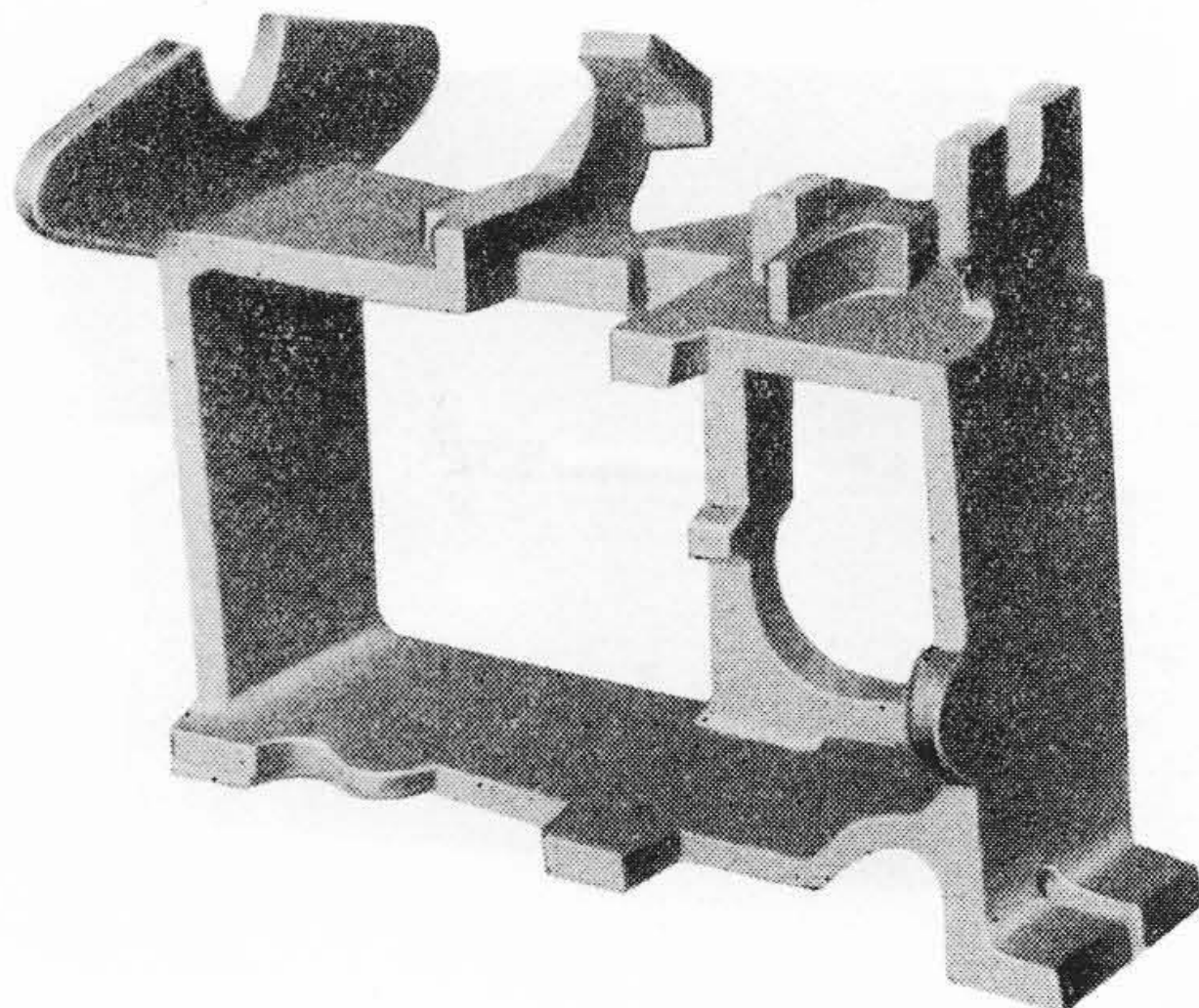
最後にこれらは精密ダイカストとしてのスイッチフレームの一例をあげたにすぎないが設計いかによつては砂型鑄物はもちろん、いかなる機械作業、たとえばプレスワークに比較しても精度原価とも、すぐれたものが続出していることを付言しておきたい。

参考文献

- (1) 山田, 菊池: 日立評論 32, 7 (昭和25~7)



第1図 スwitchフレームの寸法精度



第3図 ダイカストのスイッチフレーム