

## 種々の状態に於ける金属材料の磨耗に就て

(日本鐵鋼協會第 18 回講演大會講演 昭和 12 年 10 月)

伊丹榮一郎\*

ON THE STUDIES OF THE WEAR OF VARIOUS METALLIC  
MATERIALS IN SEVERAL CONDITIONS.

Eiichiro Itami

**SYNOPSIS:**—The problem of the wear between two metallic materials had been studied by many investigators. However, the wear between metallic and non-metallic materials, which refer to the field of industrial productive machines, is also an important problem, nevertheless the researches of this problem are few in our country. Several years ago, the present author made the comparative test of the chilled cast iron and martensitic *Mn*-steel and discussed the industrial value of the latter. Thereafter, the author carried on the wear tests of many kinds of metallic material, in various conditions. The present paper is referred to the nineteen kinds of metallic material of low and high grade, and the investigation was performed with a tube mill type testing machine by using clinker and sand as the abrasive. The conditions of these tests are as follows: in the dry condition wear test, at the room temperature, 600°C and 1,000°C; in the wet condition wear test, supplying water or 5% sulphuric acid solution to the sand-abrasive.

In the case of clinker-abrasive which hardness is lower than sand, cast iron should decidedly a great amount of wear and the low grade materials showed somewhat larger amount of wear than the high grade. In the case of sand-abrasive, harder than clinker, cast iron showed again the lowest wear-resistance, as the former case, but, in this case, the low grade materials generally showed less amount of wear than high grade materials. In the case of clinker-abrasive at the high temperature, 600°C, the wear-resistance of the low grade materials, except cast iron and chilled cast iron, was much inferior to the high grade materials. In this case, the wear resistance of metallic materials depends chiefly upon their chemical composition and the resistance to oxidation. In the case of clinker-abrasive at the higher temperature, 1,000°C, the amount of wear of low grade materials increased notably, but, on the contrary, high grade materials, except 13% Cr-steel, showed very small amount of wear. On the test of wet condition, with no load, using sand-abrasive, the low grade materials showed larger amount of wear than high grade materials in spite of the water quantity, and, especially, the wear of cast iron was most notable. In the test of wet and loaded condition, all materials generally showed over 2½ times of amount of wear of the no-loaded condition test. But in this case, the tendency of the comparative wear was similar to the former case, and when the water supply is little the low grade materials showed larger amount of wear than the case of much supply of water, but the high grade materials showed the contrary phenomenon. In the wet condition wear test with 5% sulphuric acid solution, the wear was greatly influenced by the chemical composition of these materials, and consequently had little relation to the hardness which is a serious factor to the wear, and showed the complicated results.

## 内 容

- I 緒言 II 本研究の目的 III 実験装置  
IV 試験片の寸法 V 実験の要領 VI 試験片  
の製作 VII 磨耗試験

- A 乾式磨耗試験 (a) 常温に於ける磨耗試験  
(1) クリンカーを磨耗剤とする磨耗試験 i) 表面状況  
ii) 磨耗量  
(2) 砂を磨耗剤とする磨耗試験 i) 表面状況 ii) 磨耗量  
(b) 600°C に於ける磨耗試験 i) 表面状況 ii) 磨耗量  
(c) 1,000°C に於ける磨耗試験 i) 表面状況 ii) 磨耗量  
iii) 1,000°C に於ける酸化試験 (イ) 表面状況 (ロ)

## 酸化作用による試験片の重量変化

- (d) 常温, 600 及 1,000°C に於ける乾式磨耗試験結果の比較  
B 湿式磨耗試験 (1) 水を少量添加したる無荷重磨耗試験  
i) 表面状況 ii) 磨耗量  
(2) 水を多量添加したる無荷重磨耗試験 i) 表面状況  
ii) 磨耗量  
(3) 水中に於ける各種材料の腐蝕試験  
(4) 水を少量加へたる荷重磨耗試験 i) 表面状況  
ii) 磨耗量  
(5) 水を多量加へたる荷重磨耗試験 i) 表面状況  
ii) 磨耗量  
(6) 湿式磨耗試験に於ける試験片表面硬度の変化  
(7) 5% 硫酸溶液中に於ける磨耗試験 i) 表面状況  
ii) 磨耗量

\* 神戸製鋼所名古屋工場

- VIII 常温に於ける磨耗条件と試験片の磨耗量との関係
- IX 各種材料の非金属物に対する磨耗値の比較
- X 總括

I 緒言

各種の構造用材料が機械部分品として應用される時、使用個所に依て磨耗を受くる場合が相當に多いのである。互に相接する金属間の磨耗に關しては従來ピストンリングとシリンダーライナー軸と軸承或はレールと車輪のタイヤ等の問題が屢々論議せられ多くの人々の研究に依て相當の成果を收めつゝある様である。然し生産を目的とする工業機械方面に於ては金属と非金属との磨耗が又重要な問題として考へられてゐるが之に關する研究は本邦に於ては比較的少い様に思はれる。著者は本問題に關し既に數年前冷硬鑄鐵と硬質マンガン鋼の比較實驗を行ひ後者の工業的價値に就て論及したが其後必要に迫られて更に多くの材料に就て種々の場合を考慮したる磨耗實驗を行ふ事になった。

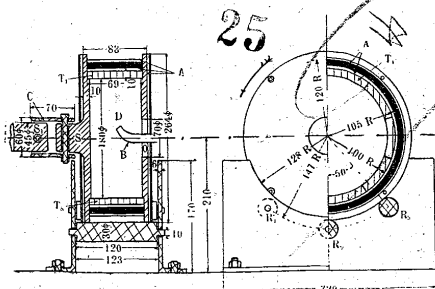
II 本研究の目的

著者は昭和6年及び昭和9年に於て冷硬鑄鐵とマルテンシチツク・マンガン鋼及びオーステナチツク・マンガン鋼の比較研究を行たが當時の實驗は常温に於て且、乾燥状態であつた。併し工業の進歩は益々能率を向上せしむべく高温に於て耐磨耗性材料を必要とするに至り、其の他砂を混入する水或は坑内水等に對して如何なる材料が最も耐磨耗性ありやと云ふ様な問題も起るので著者は其後常温並に高温に於て非金属物との乾式磨耗及び常温に於て水或は酸溶液の存在の下に於ける濕式磨耗試驗を行ひ、普通の炭素鋼を標準材として種々の材料の比較實驗を行た。

III 實驗装置

著者は前研究に於て摺動式磨耗試驗、衝擊式磨耗試驗並

1 圖 高温磨耗實驗装置



に之等兩者の作用を組合せたる tube mill 式磨耗試驗を行た。本研究に於ては高温並に濕式状態に於ける實驗の都合上 tube mill 式によ

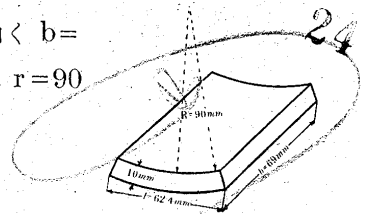
るを最も適當と考へ此の方法を採用する事にした。

第1圖は此の實驗装置を示すもので D は直径 200 mm 幅 69 mm の drum で、この中心軸に於て drum の一方側に S なる軸を有し、これがベルトによつて廻轉する所の S<sub>1</sub> 軸と coupling C によつて連結される。drum の内壁は圓周に沿ふて試験片 T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>...T<sub>n</sub> が裏張りされ 高温の場合には此の外部を石綿 A によつて被覆し 更に其の外部を鐵板にて包む。軸 S と相反せる側は O なる開口となり之に高温試驗の場合には gas burner B が挿入され濕式試驗に際しては水管を挿入する。尙此開口を利用して非金属物其の他の裝入物を入れる。drum は Roller R<sub>1</sub> R<sub>2</sub> R<sub>3</sub> によつて支へて廻轉を容易ならしめてある。

IV 試験片の寸法

第2圖 試験片の寸法

試験片の寸法は第2圖の如く b=69 mm l=62.4 mm t=10 mm r=90 mm である。



V 實驗の要領

drum には試験片が 10 枚宛一時に裝備出来るが試験片の種類が 19 種類あるので二つの drum を用ひ標準材炭素鋼を何れにも裝備して若し兩者の drum に於ける炭素鋼の磨耗結果に多少の誤差を生ずる時は之を補正する事とした。磨耗剤たる非金属物はセメントのクリンカーと砂を選んだ。之等の化學成分は第1表に示す如くである。

第 1 表

	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
クリンカー	21.39	4.22	8.22	64.21	1.69	0.27
砂	86.04	1.82	11.18	tr	tr	—

クリンカーはセメントの製造過程に於ける中間品で主成分は石灰石である。故に CaO の量甚だ多く之に反して砂は不純なる珪石類であるから勿論硬度は前者の方が軟い事は明かで Mohs 氏の硬度表より推定すれば前者は硬度 5 に近く後者は 7 に近い値と思はれる。

クリンカーは其の大きさを 20~10 mm の大きさにし砂は 7~1 mm の大きさのものを使用し、之等の磨耗剤は最初夫々 500 g を裝入して實驗を行ひクリンカーの場合には常温の時は 5 時間毎に新しきものと取替へを行ひ 600°C 及び 1,000°C の場合には 2 時間毎に取替へを行ふた。之は高温の際はガスバーナーで加熱する必要上壓搾空気を用ふる故に粉碎されたものが次第に飛散するを以てである。

砂の場合には粉碎されると粘土粉の如くなるを以て常温

並素 ③

乾式並に濕式試験に於ては5時間毎に取替へを行ふた。

本研究は最初高温磨耗試験を行ふ積りで開始せしもので磨耗を多少促進する意味で鋼球  $d=37\text{ mm}$  のもの  $1.5\text{ kg}$  を非金屬物と共に裝入した。

但し濕式試験に於ては鋼球を以て磨耗剤の上に荷重を與へる場合と全く磨耗剤のみによる場合に分ち何れも原則として100時間の實驗を行ひ之

を數回繰返して其の平均値を採用する事にした。併し  $\text{H}_2\text{SO}_4$  の溶液を用ひる場合には腐蝕作用を伴ふ關係上實驗時間を20時間に短縮した。

試験片は先づ重量を測定して之を實驗に供し、之が終了せば直に drum を分解して試験片の取出しを行ひよく表面狀況を檢したる後、重量を測り其の重量變化を求める事にした。尙 drum の廻轉數は1分間20回に一定した。

VI 試験片の製作

クリプトル電氣爐を用ひ黒鉛

坩堝にて原料を配合溶解し乾燥砂型に鑄造し、冷硬鑄鐵のみは冷し金を使用した。之等の試験材は夫々必要なる熱處理を行ひたる後、表面黒皮をグラインダーにて除きエメリーパー No. 3 迄にて仕上げ規定の寸法の試験片に製作した。今其の化學成分を示せば第2表の如くである。即ち全部で19種類の材料よりなり標準材たる炭素鋼はC

第3表 各種材料の熱處理と其の組織

No.	材 質	熱 處 理	顯 微 鏡 組 織
1	炭 素 鋼	850°C/1h F.C	(C=0.27) パーライト
2	鑄 鐵	770°C/1h F.C	(遊離セメントイト)(黒鉛)(パーライト)
3	冷 硬 鑄 鐵	鑄 込 の 儘	(パーライト)+(共晶セメントイト)
4	低 Mn 鋼	870°C/1h F.C	(パーライト)
5	5% Mn 鋼	800°C/1h F.C	(トルースタイト)+(マルテンサイト)
6	高 Mn 鋼	1,050°C/1h W.Q 760°C/2h F.C	オーステナイト
7	1% Cr 鋼	820°C/1h O.Q 400°C/1h F.C	(ソルバイト)
8	Ni-Cr 鋼	850°C/1h F.C	(パーライト)
9	Cr-Si 鋼 (6-2S)	870°C/1h F.C	$\alpha + \text{Cr}_7\text{C}_3 (\eta)$
10	Cr-Si 鋼 (8-3S)	"	"
11	13% Cr 鋼	920°C/1h F.C	$\alpha + \text{Cr}_4\text{C} (\epsilon)$
12	18/8 不銹鋼	1,050°C/1h W.Q	(オーステナイト)
13	20-0.5-2S 鋼 (S)	870°C/1h F.C	$\alpha + \text{Cr}_7\text{C}_3 (\eta)$
14	30-3-2S-Mo-V 鋼 (KR)	900°C/1h F.C	$\alpha + \text{Cr}_4\text{C} (\epsilon)$
15	10-65-X 鋼	"	(オーステナイト)+(カーバイド)
16	15-MA 鋼	"	$\alpha + \text{Cr}_4\text{C} (\epsilon)$
17	30-3-2S 鋼	"	"
18	30-3-2S-WA 鋼	"	$\alpha + \text{Cr}_4\text{C} (\epsilon) + (\text{タングステンカーバイド})$
19	37-3S-7A 鋼	"	"

第2表 各種材料の化學成分

符 號	材 質	化 學 成 分											
		C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	W	Al
1	炭 素 鋼	0.27	0.45	0.40	0.024	0.030	0.19	—	—	—	—	—	—
2	鑄 鐵	3.19	0.64	2.91	0.027	0.013	0.07	—	—	—	—	—	—
3	冷 硬 鑄 鐵	3.24	0.23	0.91	0.508	0.009	0.04	—	—	—	—	—	—
4	低 Mn 鋼	0.51	1.04	0.32	0.029	0.028	0.21	—	—	—	—	—	—
5	5% Mn 鋼	0.59	4.56	0.58	0.034	0.020	0.17	—	—	—	—	—	—
6	高 Mn 鋼	1.10	12.00	0.73	0.056	0.017	0.15	—	—	—	—	—	—
7	1% Cr 鋼	0.65	0.31	0.16	0.012	0.028	0.17	—	1.08	—	—	—	—
8	Ni-Cr 鋼	0.25	0.37	0.19	0.024	0.015	0.18	3.32	0.84	—	—	—	—
9	Cr-Si 鋼 (6-2S)	0.43	0.54	2.64	0.012	0.034	0.08	—	6.37	—	—	—	—
10	Cr-Si 鋼 (8-3S)	0.45	0.52	3.24	0.021	0.032	0.18	—	8.76	—	—	—	—
11	13% Cr 鋼	0.36	0.24	0.22	0.009	0.016	0.16	1.56	12.29	—	—	—	—
12	18/8 不銹鋼	0.26	0.16	0.23	0.013	0.004	0.13	7.90	16.36	—	—	—	—
13	20-0.5-2S 鋼 (S)	2.03	0.54	2.35	0.007	0.028	0.10	0.42	2.36	—	—	—	—
14	30-3-2S-Mo-V 鋼 (KR)	0.57	0.60	1.80	0.006	0.006	0.11	2.87	28.83	0.23	0.75	—	—
15	10-65-X 鋼	0.37	1.72	0.47	0.008	0.011	0.04	65.02	11.91	0.34	0.35	2.83	—
16	15-MA 鋼	0.47	0.26	0.25	0.018	0.004	0.16	—	14.77	1.77	—	—	1.41
17	30-3-2S 鋼	0.64	0.46	2.14	0.016	0.016	0.10	3.72	31.20	—	—	—	—
18	30-3-2S-WA 鋼	0.57	0.61	2.31	0.019	0.005	0.06	3.38	25.95	—	—	1.71	1.50
19	37-3S-7A 鋼	0.38	0.18	3.10	0.008	0.018	0.08	0.47	37.05	—	—	—	7.31

0.3%附近のもので之に参考のために普通鑄鐵及び冷硬鑄鐵を加へた。

尙表に就て見るに從來知られたる耐磨耗性材料としては冷硬鑄鐵マンガン鋼 クロム鋼等にして構造成として普通用ひられる Ni-Cr 鋼の次に位する各種材料は次第に高級の鋼に屬し耐熱性並に耐蝕性を有するもので 之等の材料に關しは未だ非金屬物を相手としたる場合の磨耗研究の報告を殆ど聞かないのである。

第3表は之等試験材の熱處理と其の組織の概要を示すものである。

### VII 磨耗試験

A. 乾式磨耗試験 乾式磨耗試験は常温 600°C 及び 1,000°C に於て行ふた。而して最初本研究の目的がセメント機械に於ける高温耐磨耗性材料を探究するにあつたので乾式磨耗試験に於ける磨耗劑として某セメント會社より受けたるクリンカーを原則として用ひたが 其の場合を考慮して砂を磨耗劑とする必要も生じたので常温に於てはクリンカーと砂の場合を比較研究する事にした。

(a) 常温に於ける磨耗試験

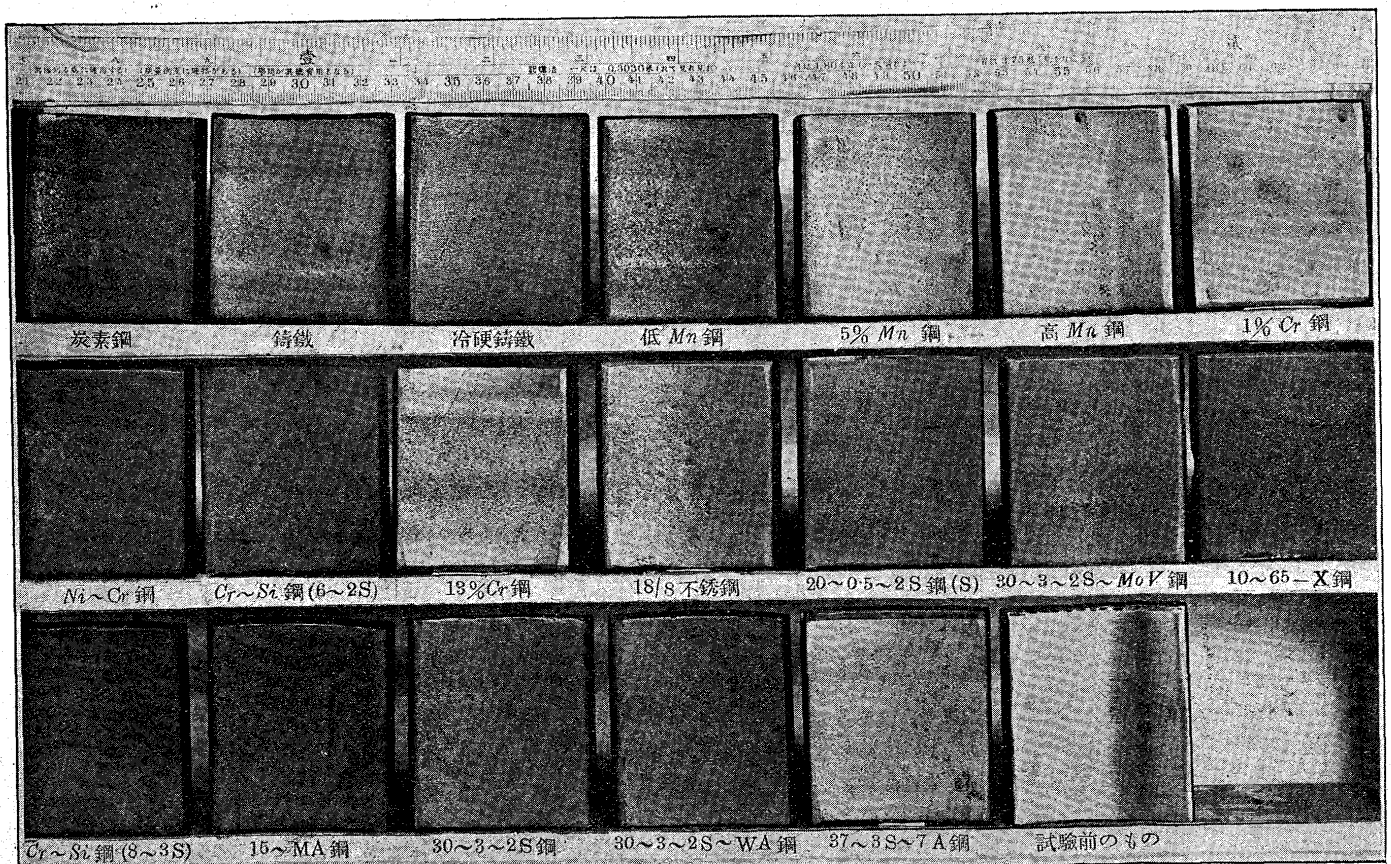
(1) クリンカーを磨耗劑とする磨耗試験 セメント會社より受けたるクリンカーは直径 0.5~70mm に變化

して居たので之を碎いて sizing を行ひ 10~20mm のものを drum 内に装入し、荷重として d=37mm の鋼球 1.5kg (6個) を共に装入した。100時間の實驗後 drum を分解して試験片を取外し、其の表面狀況並に重量減を測定した。

i) 表面狀況 取外したる儘の試験片の状態を観察するに 5% Mn 鋼 高 Mn 鋼 1% Cr 鋼 13% Cr 鋼等は粉末の附着少く炭素鋼 低 Mn 鋼 Ni-Cr 鋼 10-65-X 鋼等は粉末附着の傾向前者より多く其の他のものは之等の中間にある程度を示した。此の粉末を竹ブラシで除去し試験片をアルコールで洗滌乾燥したる後磨耗狀況を見るに寫真 No.1 の如く冷硬鑄鐵 5% Mn 鋼 高 Mn 鋼 1% Cr 鋼 13% Cr 鋼 18/8 不銹鋼等の6種は表面比較的滑かで光澤を有し概して薄鼠色を呈してゐるが炭素鋼 鑄鐵 低 Mn 鋼 Ni-Cr 鋼 10-65-X 鋼等の5種は表面相當に粗面を呈し光澤を殆ど失ひ其の他のものは之等兩者の中間にある状態を呈してゐる。

ii) 磨耗量 第3圖は各種材料と其の磨耗量の關係を示すもので、左端の標準材料である炭素鋼より Cr-Si 鋼迄は大體として低級材料で、之より右側に位置するものは高級鋼材と見做されるものである。圖に於て上圖は各種試験

寫真 No. 1 常温乾式磨耗試験片表面狀況 (磨耗劑クリンカー)



5.7036 = 20.52 25 -

片の磨耗試験前後に測定せる硬度並に其の變化量を示し、  
 下圖は試験片の磨耗量を示し、之等の中 A 曲線はクリ  
 ンカーに依る磨耗の場合、B 曲線は砂に依る磨耗試験の場  
 合の結果を表はすものである。下圖の A 曲線を見るに鑄  
 鐵の斷然磨耗量の著大なるを示せるに反し其の他のもの  
 は比較的磨耗量の差小であつて大勢として餘り變化ない様  
 に思はれるが、一般に左側の低級材料が右側の高級材料よ  
 りも磨耗量が多い。而して本實驗は僅か 100 時間の結果  
 であるので長時間の後には之より以上の大差を生ずべき  
 ものであるから之等の差異小なりと雖も實際問題としては  
 看過する事は出來ないのである。今具體的に之等各材料の  
 耐磨耗性の優劣を判斷するに磨耗剤がクリンカーなる場合  
 は元の硬度が最高に近き値を有する冷硬鑄鐵（シ。アー硬  
 度 58.2）が最も磨耗量が少く之と殆ど硬度等しく焼入  
 焼戻せる 1% Cr 鋼（シ。アー硬度 58.6）が磨耗量多き  
 は全く材料の化學成分の影響で其の本質的差異に歸せねば  
 ならない。鑄鐵に次いで硬度の低き炭素鋼（シ。アー硬度  
 20.6）、低 Mn 鋼（シ。アー硬度 21.8）及び Ni-Cr 鋼  
 （シ。アー硬度 26.6）等は大體として相似たる磨耗量を示  
 し、高級材料では 10-65-X 鋼が磨耗比較的によく其の他  
 のものでは冷硬鑄鐵に次ぐ耐磨耗性を表はしてゐる。高級  
 材料の中で 13% Cr 鋼は最も磨耗が少い。此の實驗に於

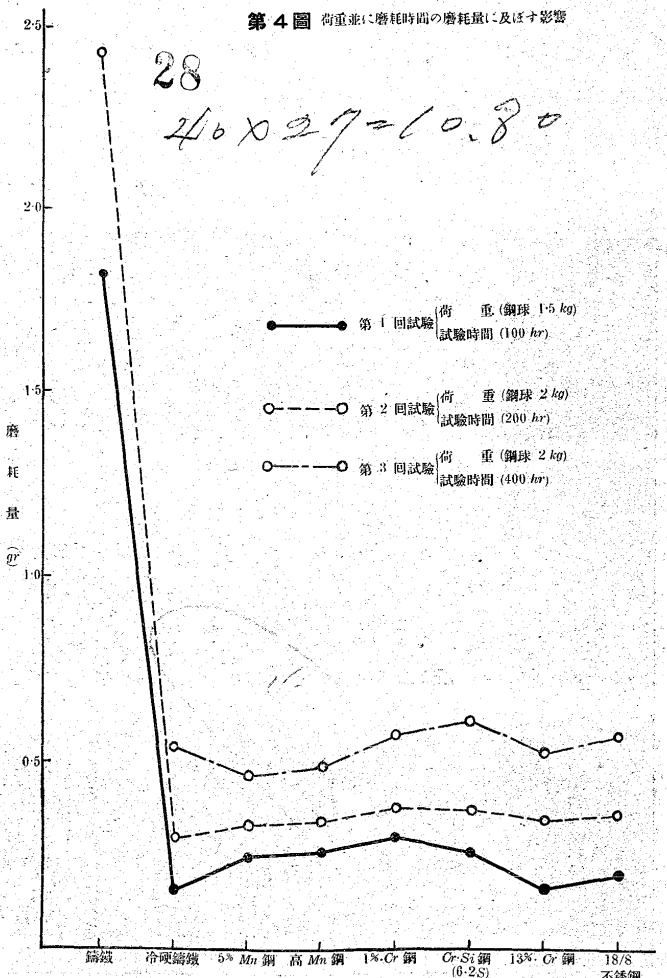
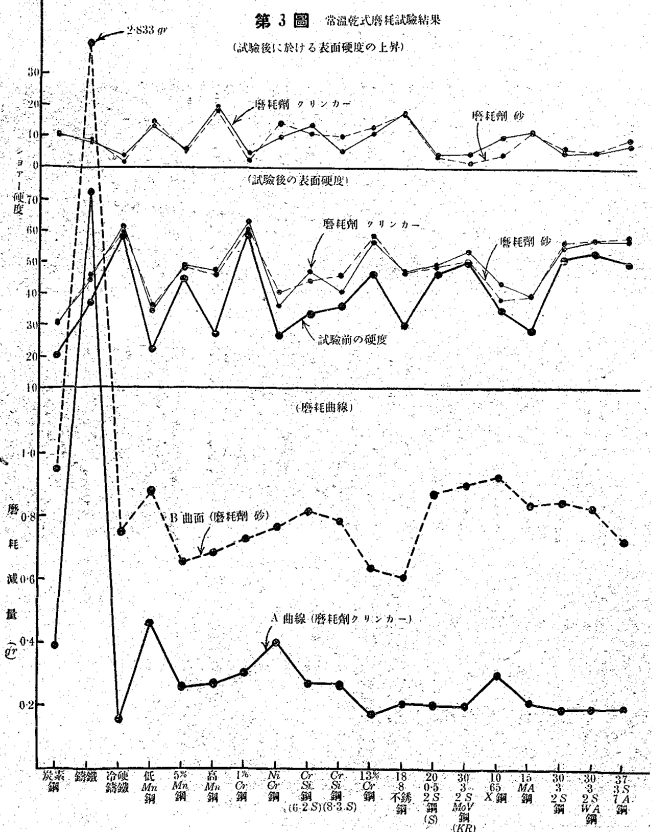
て注意すべきは Ni と Cr 量の相對的關係で Ni が Cr  
 よりも多き Ni-Cr 鋼及び 10-65-X 鋼が結果不良なる事  
 である。

尙 5% Mn 鋼が高 Mn 鋼に比して稍優れたる傾向を示  
 せるは著者が既に發表せし實驗結果の確實なる事を実證せ  
 るものである。

試験片の元の硬度の低きものは一般に實驗後の表面硬度  
 の上昇を示してゐるが此の常溫加工による硬度上昇が必ず  
 しも磨耗量の少きを招來せるものと云へない。但し概して  
 磨耗實驗後に於て硬度の高きものは磨耗量の少きを示せる  
 ものが多い様である。

冷硬鑄鐵は前述せる如く本實驗に於て最も耐磨耗性の  
 大なるを示せる様であるが長く磨耗に曝露せしむると他の鋼  
 よりも磨耗の進行程度が著しい傾きがある。即ち第 4 圖に  
 示すは更に 200 時間の連續實驗を行ひ且つ荷重を 2kg に  
 増加したる場合の結果で鑄鐵の磨耗大なる事は問題外であ  
 るが 5% Mn 鋼及び其の他の材料の磨耗の進行遅々たる  
 に反し冷硬鑄鐵は比較的磨耗の進行著しく更に長時間の使  
 用により他の材料よりも耐磨耗性が劣るに至る傾向が看取

27  
 35 x 27 = 945



並

される。

(2) 砂を磨耗剤とする磨耗試験 此の場合も前同様に鋼球 1.5kg を磨耗剤と共に装入して実験した。

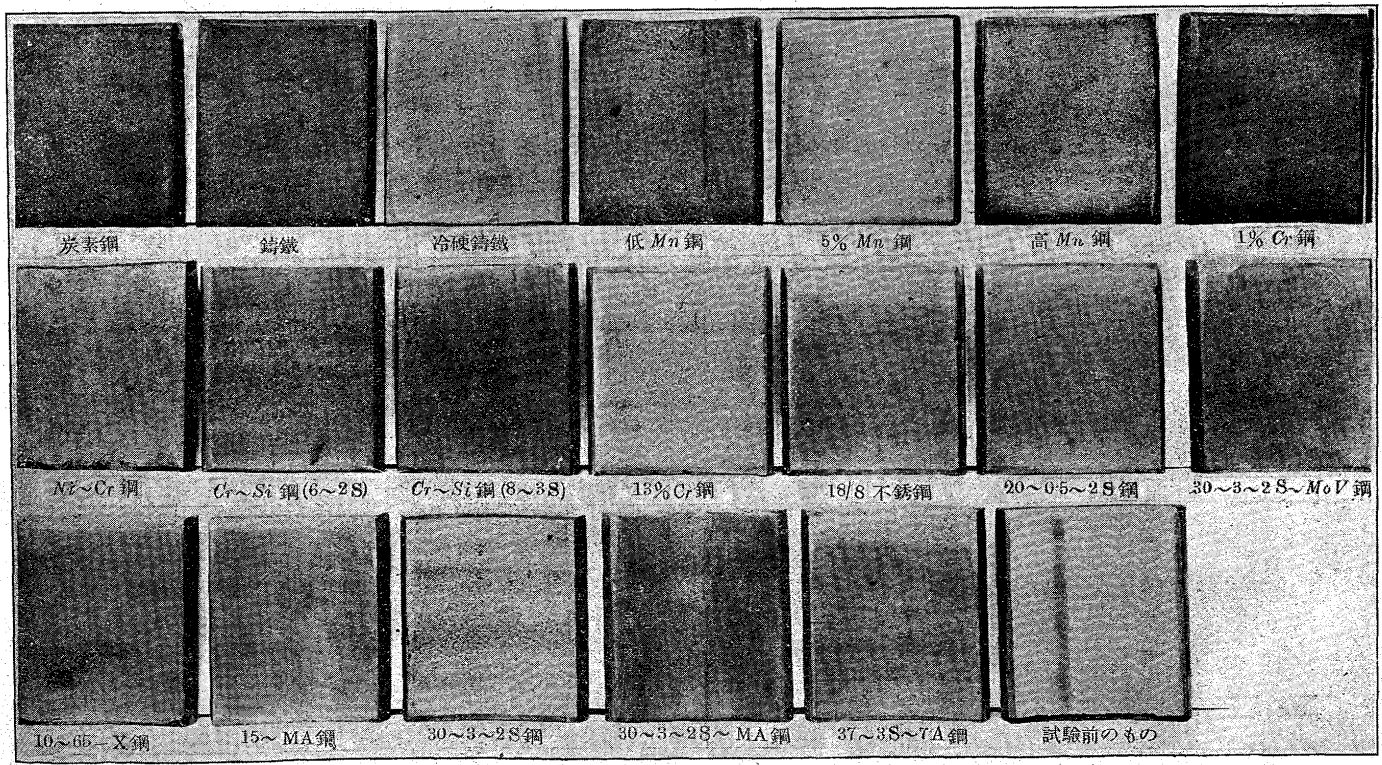
i) 表面状況 実験後、試験片を上述せし如く洗滌乾燥し表面状況を見た。寫眞 No.2 の如く炭素鋼より高 Mn 鋼に至る迄は蟲喰状に腐蝕されたる如き凹凸を生じ居り。焼入焼戻せる 1% Cr 鋼は drum の廻轉方向に擦り疵を呈し、13% Cr 鋼も亦多少此の傾向がある。Ni-Cr 鋼 Cr-Si 鋼は蟲喰状に磨耗されてゐるが其の程度未だ輕微にして所々にしか見られない。其の他の高級材料は硬き稜角ある砂を打込まれたる痕跡を有し、殊に硬度低き 10-65-X 鋼及び 15-MA 鋼等は此の痕跡の數多き様に觀察される。

ii) 磨耗量 第3圖の B 曲線は此の実験の結果を示すもので磨耗剤が硬くなりし關係上、全體としてクリンカーの場合よりも磨耗量が多くなってゐる。而して各種材料の相對的耐磨耗性が A 曲線に比して一變せる事が認められる。即ち大勢上前實驗では高級材料が磨耗量少きを示したが本實驗に於て此の形勢が逆轉せるの觀がある。此の場合に於て鑄鐵は依然として斷然耐磨耗性の全く少きを確證し又前實驗にて最も優秀なる耐磨耗性を示したる冷硬鑄鐵は 5% Mn 鋼及び高 Mn 鋼に劣るに至り而も 5% Mn 鋼は低級材料の内て最も磨耗量の少きを示した。此れ

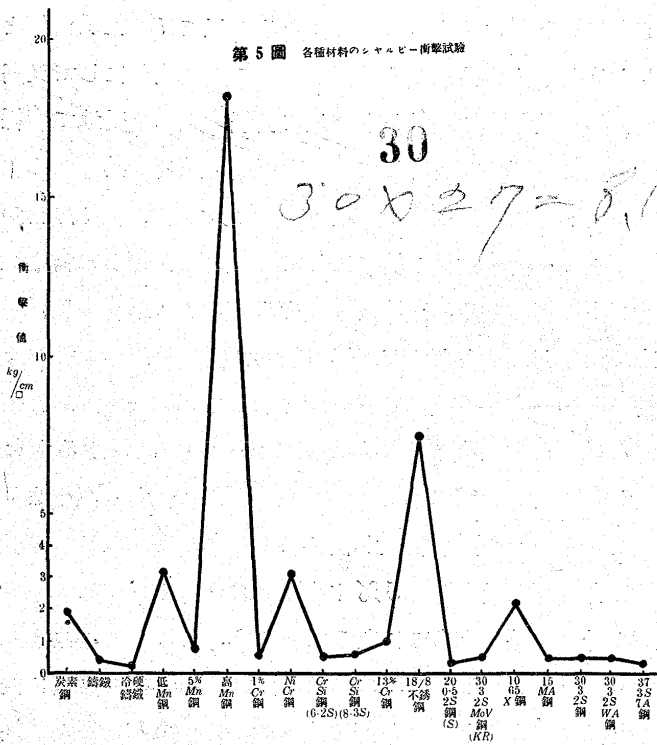
は磨耗剤が稜角ある硬度高き砂なるを以て 5% Mn 鋼よりも脆硬なる冷硬鑄鐵は表面結晶粒の崩壊速かにして又高 Mn 鋼は最初の硬度軟かきを以て引掻き損傷を受けて磨耗され従て耐磨耗材料として靱性と硬度を適當に具備する 5% Mn 鋼に劣るものと考へられる。第5圖は各種材料のシャルピー衝擊試験の結果にして 5% Mn 鋼が相當靱性を有する事が解る。又焼入焼戻せる 1% Cr 鋼は硬度殆ど冷硬鑄鐵と同様であるが靱性が後者に優るを以て本實驗に於ては寧ろ冷硬鑄鐵に優る成績を示した。Ni-Cr 鋼は炭素鋼 低 Mn 鋼と共に組織が同様にパーライトであるが硬度が若干之等 2 種の鋼より高き上に更に靱性が炭素鋼より大であるために耐磨耗性が優れてゐるものと思はれ若し低 Mn 鋼の Mn 量を 1.5% に増加せしむるならば Ni-Cr 鋼と殆ど大差なきものになるであらう。Cr-Si 鋼は兩者何れも Ni-Cr 鋼に比して其の硬度は Cr の含有量と共に高きを示してゐるが靱性が著しく後者に比して劣るために斯かる硬度高き磨耗剤に對して却て劣れる結果を示せるものである。

本實驗に於て 13% Cr 鋼及び 18/8 不銹鋼が最も磨耗量の少きを示せる事は注意すべき點であつて其の他の高級材料は全部磨耗量の多きを表はしてゐる。此の理由は 13% Cr 鋼は高級材料の中で硬度比較的高く且相當の靱性を有し又 18/8 不銹鋼は硬度低きも靱性の大なる點及び常溫

寫眞 No. 2 常溫乾式磨耗試験片表面狀況 (磨耗劑砂)



57 x 32 = 1824 — 27 —



加工に依る硬化現象を呈する點に於て 高Mn鋼に次で優秀性を示せるからである。其の他の高級材料は硬度相當に大なるものがあるが靱性の劣れる點に於て磨耗量の増大を來せしものと想像される。10-65-X鋼は靱性は相當優れてゐるが硬度の低き事及び常溫加工による硬化性の少き關係上炭素鋼と殆ど同様なる不良結果を來せしものであらう。本實驗に於ても大體に於て實驗後の硬度高きものは磨耗

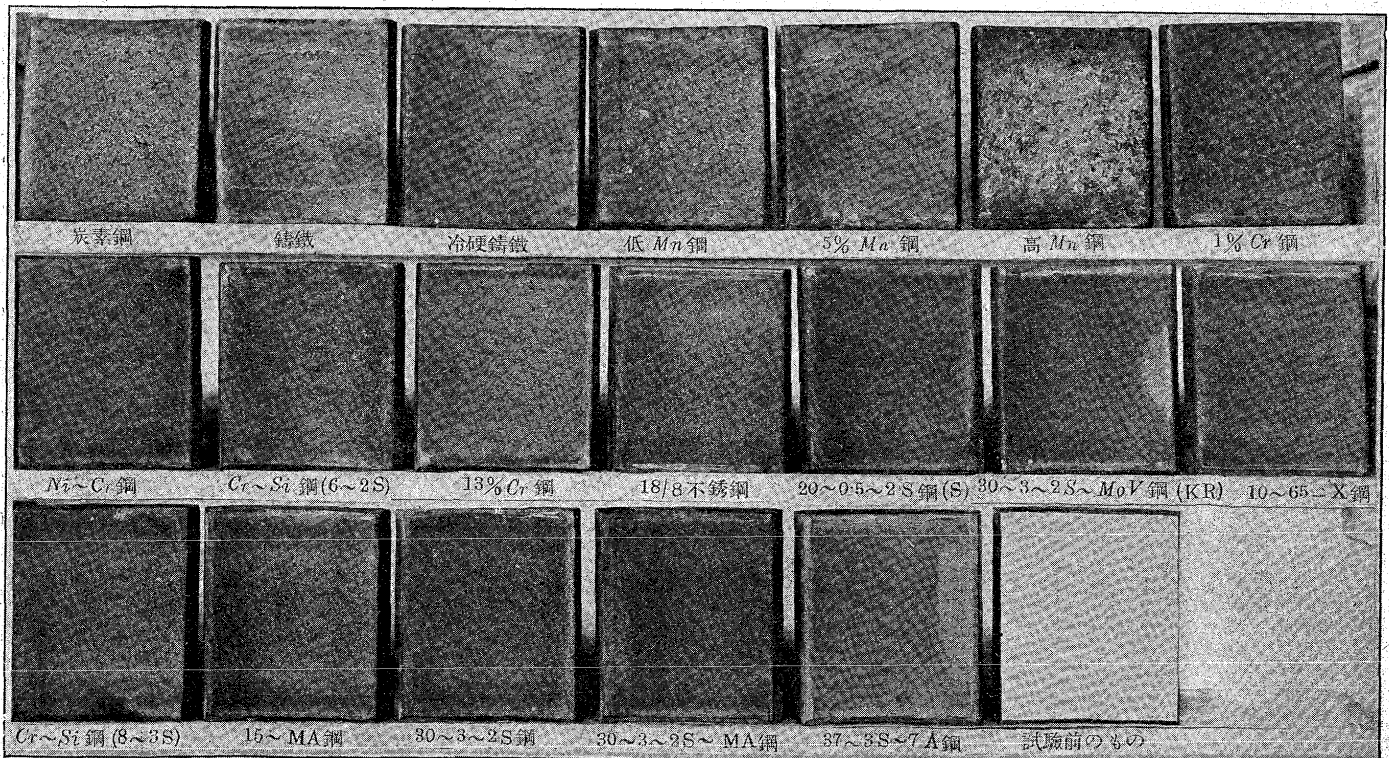
少き傾向を表せる様であるが、元の硬度と靱性が磨耗量に及ぼす影響が殊に顯著に現はれてゐる事は注意すべき點である。

(b) 600°C に於ける磨耗試験 600°C に於ける磨耗實驗には溫度調節頗る困難であるが第1圖に示せし如く drum の周圍をアスベストにて被覆して熱の著しき放散を防ぎ又バーナーの壓搾空氣を加減し以て溫度を 600°C ± 30°C の範圍に保た。溫度の測定は時々 drum の開口〔O〕を通じて熱電對を挿入し此の時に於ける drum 内壁の試験片表面の加熱程度と溫度との關係を認識し主として目測にて出来る丈 600°C 附近に保持する様に努め、尚荷重に用ふる鋼球は耐熱性 Cr-Si 鋼製を使用した。

i) 表面狀況 此の場合は常溫の場合と異り酸化が相當に影響する。寫眞 No.3 は之等試験片の實驗後に於ける状態を示すものである。炭素鋼、低 Mn 鋼、1% Cr 鋼等の3種は磨耗の間に表面に生じたる薄き酸化層であるスケールが磨耗劑の摺動作用又は鋼球の打撃によりて既に剝落し、5% Mn 鋼は多少此の現象を呈し、鑄鐵及び冷硬鑄鐵は其の傾向極めて少い様である。

高 Mn 鋼の試験片を溫度 100~200°C に迄冷却したる後大氣中に取出してもピンピンと弾ける様にスケールが自然に剝落するを見る。Ni-Cr 鋼を始め其の他の高級材料は 600°C 附近の溫度範圍に於てはスケールの生成極めて

寫眞 No. 3 600°C に於ける磨耗試験片表面狀況 (磨耗劑クリンカー)



59 x 31 = 17.67

32 x 27 = 8.64

並

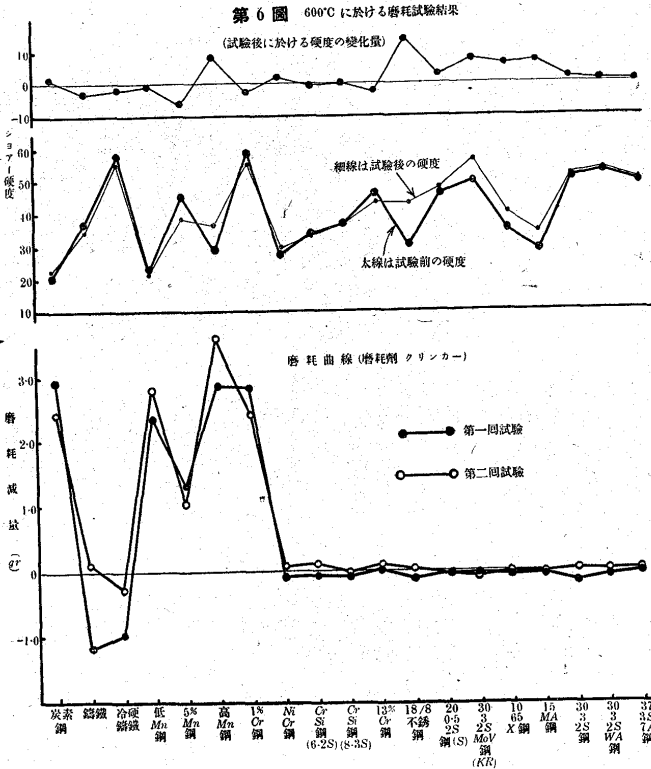
輕少である。而して炭素鋼より 1% Cr 鋼に至る材料は其の表面一般に稍青味ある黒色を呈し Ni-Cr 鋼より右側の高級材料は薄き灰黒色を表してゐる。

ii) 磨耗量 第6圖は此の實驗に於ける磨耗減量を表すもので 1% Cr 鋼より左側のものは甚だしき不良結果を示し、之に反し Ni-Cr 鋼より右側の高級材料は殆ど磨耗

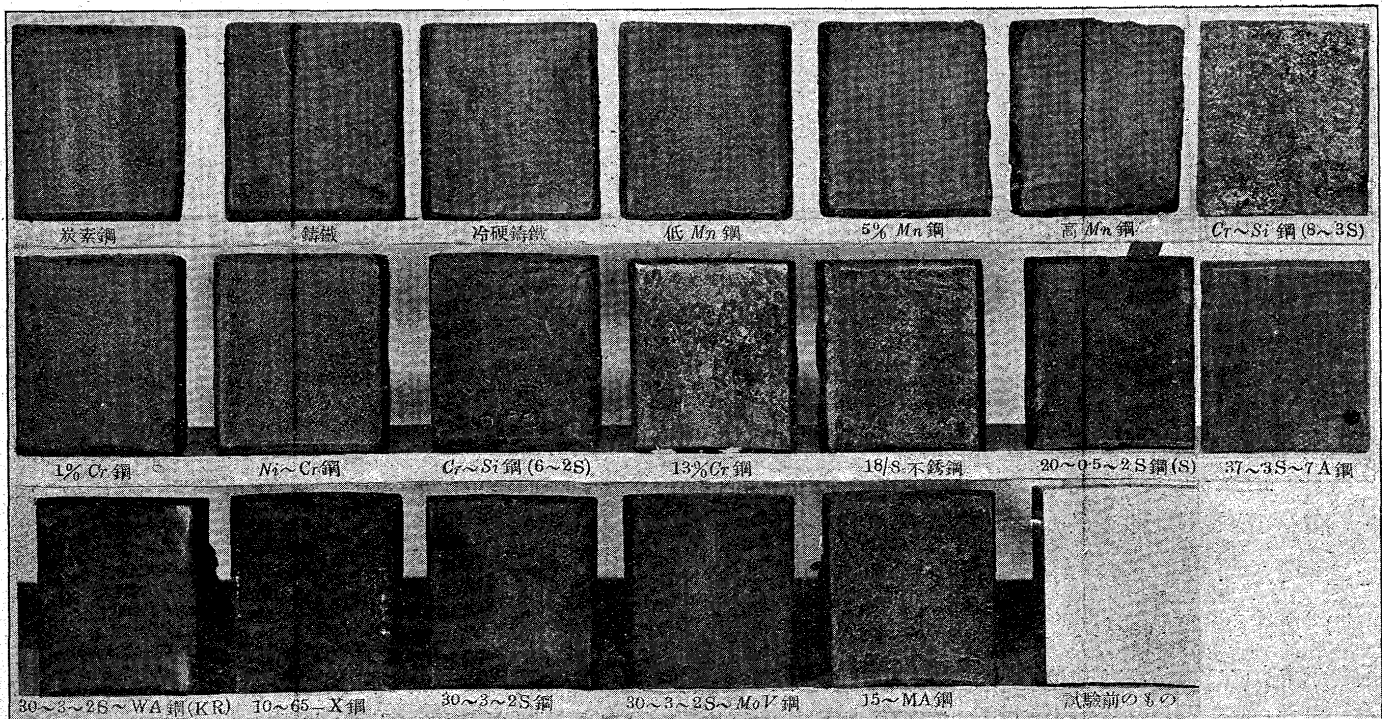
量が認められない。スケールが緻密に密着せるために寧ろ重量増加を來し負値を示せるものもある。唯 低級材料側に於ける例外として鑄鐵及び冷硬鑄鐵は其の磨耗減量高級材料の如く極めて少く却て著しく負値を示して居る。而して本實驗に於ける磨耗量と硬度との關係を見るに低級材料に於ては硬度も相當影響し磨耗量を少くする傾向が窺はれるが主として材料の化學成分に影響される所が多く殊に Ni-Cr 鋼より右側の高級材料は硬度の如何に拘らず 600°C に於ては充分耐磨耗性たる事を示すものである。5% Mn 鋼が 高 Mn 鋼より著しく磨耗量の少きは前者は 600°C に於て殆ど組織がトルースタイトになり硬度減少するが後者は 600°C に加熱せられる結果オーステナイトの結晶境界にトルースタイトを生じ硬度の上昇を起し、兩者の硬度は漸次接近するも Mn が極めて酸化され易きために Mn 含有量の比較的少き 5% Mn 鋼が此の溫度に於て磨耗量少きを示すものと考へられる。炭素鋼及び低 Mn 鋼の磨耗減量の大きなるは兩者何れもパーライト組織にして硬度低く且酸化され易いものであるからである。

最後に鑄鐵と冷硬鑄鐵の磨耗少い理由に關しては、主として兩者共に炭素の含有量多く且 Si を相當含むために酸化作用を減殺する事によるものであらう。

顯微鏡試験の結果によると炭素鋼は此の實驗に於て 0.1 mm 位の脱炭層を示し、低 Mn 鋼も僅かの脱炭を示し、又



寫眞 No. 4 1,000°C に於ける磨耗試験片表面狀況 (磨耗剤 クリンカー)



57 x 30 = 1710 - 29



5% Mn 鋼及び高 Mn 鋼の両者は表面附近にトルースタイトを生じ 1% Cr 鋼はソルバイトが多少粗大になり 18/8 不銹鋼は多少結晶境界にカーバイトの析出を示してゐる。其の他の材料は殆ど變化を示さない。

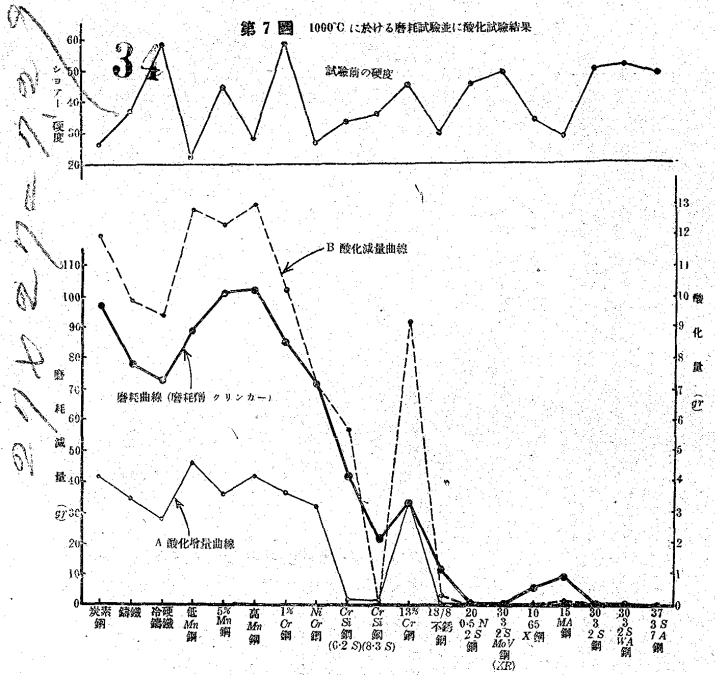
(c) 1,000°C に於ける磨耗試験 此の實驗はセメント機械のキルン即ちクリンカー生成爐の裏飯材料の研究を目的とするものである。drum の溫度の上昇には相當の苦心を拂たが遂に壓搾空氣の適當なる調節によつて成功した。溫度は正確に 1,000°C を保持する事は不可能であつたが光高溫計と熱電對の測定によつて 1,000°C ± 50°C の範圍に保持する事が出來た。而して此の場合には drum の外側はアスベストにより充分保温された爲に 其の溫度 500°C 位迄の上昇程度であつた。

i) 表面狀況 實驗溫度が 1,000°C 附近に上昇されてゐるために寫眞 No.4 に見る如く試験片の表面は著しく酸化されたものもある。即ち標準材たる炭素鋼より Cr-Si 鋼に至る各種材料はスケールが著しく厚く附着し、就中 高 Mn 鋼の酸化は殊に著しく磨耗實驗中に相當スケールが剝離せるものゝ如く表面が凹所を呈せる状態であつて 5% Mn 鋼も多少此の傾向を表してゐる。又冷硬鑄鐵は高温に加熱曝露したる結果黒鉛化を起し歪を生じてゐる。高級材料にありては 13% Cr 鋼は低級材料に於ける如く甚だしくないが可なりのスケールを生じ 18/8 不銹鋼は之に次で酸化され易き傾向があつて且つ磨耗實驗の高温より冷却されて取出しに至る迄に既にスケールが自然に剝離し龜甲型狀の凹みを表はした。10-65-X 鋼及び 15-MA 鋼もクリンカーを除去したる後同様に酸化傾向の著しき事が認められた。其の他の 20-0.5-2S 鋼, 30-3-2S-MoV 鋼, 30-3-2S 鋼, 30-3-2S-WA 鋼及び 37-3S-7A 鋼等の Cr を 20% 以上含有するものはスケールが生じてゐるが其の量極めて少く且つ緻密であつて比較的滑かな表面を存してゐる。

炭素鋼より 18/8 不銹鋼迄は表面所謂スケール色を呈し之より高級のものは灰黒色に多少褐色味を加へ、殊に 37-3S-7A 鋼は Al の含有多きためか褐色を呈する事甚だしい。但し 15-MA 鋼は Cr の含有少きためにスケール色を呈してゐる。

ii) 磨耗量 第 7 圖は此の實驗による各種材料の磨耗減量を示すものである。之に依ると大體として左側の低級材料は磨耗量著大にして右側の高級材料は之に反して少い。

鑄鐵及び冷硬鑄鐵が 600°C に於ける實驗結果の様に低級材料の中で磨耗量少きを表せる事は注目すべき點である。1,000°C に於ける高温に於ては 5% Mn 鋼も高 Mn 鋼も最早優劣なく炭素鋼と同様に耐磨耗性が悪い。1% Cr 鋼は 1,000°C に於て全く焼戻されて軟化し磨耗量が多く Ni-Cr 鋼も此の溫度に於ては最早耐熱性を失ひ同様に磨耗甚だしい。



Cr-Si 鋼は靱性の少きために常溫磨耗試験に於ては 5% Mn 鋼及び 高 Mn 鋼と共に其の耐磨耗性がクリンカーの場合には殆ど同程度で砂の場合は却て磨耗量が多かつたが 600°C の場合より抵抗性を發揮し殊に此の 1,000°C の實驗に於ては比較的安價なる高級材料としては高温耐磨耗性が優れてゐるものと云へる。これは Si の含有により耐酸化性の増加したるによるものである、然るに 13% Cr 鋼は高級材料の中で最も磨耗量多きを示した、之は Cr のみにては耐熱性充分でない事を示すもので、若し之に Si を添加すれば更に良好なる材料を得る事は明かである。彼のディーゼル・エンジン用の弁用鋼は Cr 13%, Si 2%, 之に W 或は Mo を含有せるものあるを見て分る。次で 18/8 不銹鋼の磨耗量の多きはスケールが緻密でなく新陳代謝が可なり行はれる結果で 10-65-X 鋼及び 15-MA 鋼等は高級材料にも拘らず、高温耐磨耗性の比較的劣れるは Cr の含有量が少い上に Si の含有非常に少い事が原因してゐる其の他の高級材料は Cr を相當含有する以外にすべて Si を 2~3% 含有し、更に Ni Mo V W Al 等を含んで居り何れも磨耗量が微量に過ぎない。

並

試験片の表層附近に於ける顕微鏡寫眞を見るに炭素鋼 低 Mn 鋼及び 1% Cr 鋼 Ni-Cr 鋼等は酸化作用を受け其の深さ 1.0~0.5mmの範圍に順次脱炭層を表はしてゐる鑄鐵及び冷硬鑄鐵の脱炭層は前者に比して少く 0.2mm を示し、後者は表面附近より内部に亘て黒鉛化を起してゐる。5% Mn 鋼及び高 Mn 鋼は何れも表面附近 0.5mm の深さ迄組織の變化を來し、トルースタイトの生成益々多くなり且内部に於ても結晶粒間にカーバイトの發生を起せるを見る。

Cr-Si 鋼の Cr 量少きものは表面附近過熱のため結晶粒の成長を來し結晶粒界が明瞭となつてゐる。13% Cr 鋼は高温加熱の影響を受けてカーバイトの凝集を來し、又 18/8 不銹鋼は結晶粒界にカーバイトが析出してゐる。其の他の材料では組織に殆ど變化ないが唯 10-65-X 鋼のみがカーバイトの凝集を起せる傾向が見える。

以上の結果を見るに 1,000°C に於ける耐磨耗性は殆ど鋼材の耐酸化性によるものゝ如く思はれるので次の如く酸化試験を行た。

iii) 1,000°C に於ける酸化試験 試験片は d=13mm h=35mm の圓壙狀に仕上げ電熱爐内で 1,000°C に於て 50 時間保持したる酸化試験を行た。但し保持時間が相當長時間に亘るので酸化甚だしきものはスケールが剝落する恐れあるを以て耐火性のポートに試験片を各 1 個宛立て、之を加熱した。50 時間保持後爐内で冷却し溫度 100°C に降下した時之を取り出し試験片は各材料別毎に 2 個宛採用し一つはスケールの附着せる儘他の一つは之を出来るだけ除去したる状態にて夫々重量を測定した。

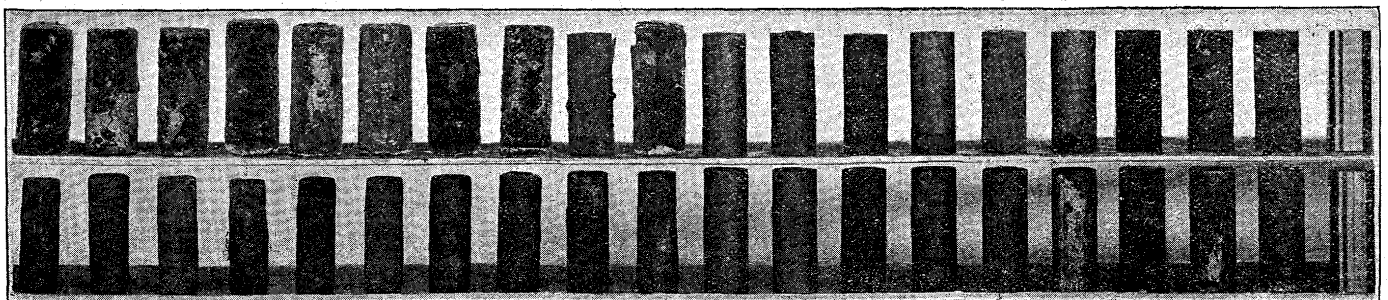
(イ) 表面狀況：寫眞 No.5 に示す如く炭素鋼より 13% Cr 鋼に至る迄の各種材料は青黑色の所謂スケール色を

呈し之等の酸化層は相當厚くして特に 13% Cr 鋼のみは龜裂を生じてゐた。之に反して高級材料はスケールの厚み極めて薄く緻密に附着し唯 18/8 不銹鋼のみ爐より取出したる時スケールが細かき薄片となつて剝落せる形跡が認められた。

(ロ) 酸化作用による試験片の重量變化 第 7 圖に於ける A 曲線は酸化による増量を示し B 曲線は減量を示すものである。A 曲線に於て炭素鋼より Ni-Cr 鋼迄の各材料は増量大にして、鑄鐵及び冷硬鑄鐵は比較的少い。Cr-Si 鋼より右側的高级材料は 13% Cr 鋼を除き殆ど増量なき程度にして Cr-Si 鋼が多少の増量を示せるのみである。B 曲線は出来るだけスケールを除去したる場合の重量減を示すもので低級 Cr-Si 鋼 (6-2S 鋼) 迄の材料は酸化減量大なるを示し、就中炭素鋼 低 Mn 鋼 5% Mn 鋼及び高 Mn 鋼は最も減量の著しき部類に屬し、鑄鐵及び冷硬鑄鐵は 1% Cr 鋼と共に稍々少く Ni-Cr 鋼之に次いで減量小である。高級 Cr-Si 鋼 (8-3S 鋼) より右側のものには 13% Cr 鋼の例外を除いて微量の減量を呈せるに過ぎない。

斯くの如く酸化による増量の曲線と酸化層除去による減量曲線とが著しく相隔たる程、酸化作用が試験片の表層深く侵透し酸化表層の比較的脆弱なる事を物語るものにして之等の兩曲線が相接近する程、表面に生成されるスケールが極めて堅固緻密なる事を示し、従て酸化作用は表層の僅少の深さに止まり、耐磨耗性が大となるのである。13% Cr 鋼は高級材料としては耐酸化性甚だしく劣り高温酸化により生成される酸化層は上述の如く龜裂を生じ其の結果酸化作用が内部の方へ促進されたものである。茲に注意すべきは酸化増量曲線と酸化減量曲線とが相隔たり、又は相接し

寫眞 No. 5 1,000°C に於ける酸化試験片表面狀況 { 上段は酸化のまま、下段は出来るだけ酸化層を除去せるもの



1. 炭素鋼 2. 鑄鐵 3. 冷硬鑄鐵 4. 低-Mn 鋼 5. 5%-Mn 鋼 6. 高-Mn-鋼 7. 1%-Cr 鋼 8. Ni-Cr-鋼 9. Cr-Si-鋼 (6-2S) 10. 13%-Cr 鋼 11. 18/8-不銹鋼 12. 20-0.5-2S-鋼 (S) 13. 3-3-2S-WA 鋼 (KR) 14. 10-65-X 鋼 15. Cr-Si-鋼 (8-3S) 16. 15-MA-鋼 17. 30-3-2S-鋼 18. 30-3-2S-WA 鋼 19. 37-3S-7 A 鋼 20. 試験前のもの

57 x 12 = 684 - 31 -

益

て居ても磨耗量が之に比例しないものもある。即ち 13% Cr 鋼は前者に屬し酸化減量相當に大なる性質を有するにも拘らず實際の磨耗量は比較的少い。之は當然 Cr 含有量の多きによるものにして若し之に Si を含有せしむれば勿論 Cr-Si (8-3S) 鋼よりも高温耐磨耗性が大なる事であらう。18/8 不銹鋼, 10-65-X 鋼, 15-MA 鋼の如きは後者に屬し兩曲線が相接してゐるが比較的磨耗量多きは何れも Si を含有してゐない爲に生成されたスケールが緻密堅固でなく従て高温磨耗作用に際して摺り減らされ易いのである。其の他の高級材料はすべて Si を 2~3% 含有し、且 20% 以上の Cr を含み、スケールの生成極めて薄く且堅固なる爲に磨耗量少いが、之には他の特殊元素 Ni Mo V W Al 等の影響を度外視する事は出来ない。

(d) 常溫 600 及び 1,000°C に於ける乾式磨耗試験結果の比較 クリンカーを磨耗剤とし荷重を加へたる場合、常溫並に高温に於ける磨耗試験結果を一括し同一の尺度を以て比較すると第 8 圖の如くなる。之に依て各場合に於ける磨耗量の比較値が明瞭に判る。即ち常溫に於ては各材料共に其の差少い様に見え 600°C になると炭素鋼より 1% Cr 鋼迄は稍々磨耗量が多く其の他のものは殆ど差異を呈してゐないが 1,000°C になると磨耗量に雲泥の差を生ずる事が解る。之によつて 1,000°C の如き高温度に

曝される機械部分品には適當なる高級耐磨耗性材料を使用すべき重要性が痛感される。

B. 濕式磨耗試験 濕式磨耗試験に就ては從來 Blake 氏が各種の砂に對して純鐵 白鉄 高 Mn 鋼 冷硬鑄鐵 其の他の工具材料の比較磨耗研究を行た報告あるのみである。彼は圓板の周圍に設けたる溝の中に砂と水を入れて此の溝に垂直に試験片を立て、實驗したが此の方法によると試験片の小なるために端縁効果の恐れがある。著者は前記の drum 式装置によつて本研究を行たので斯様な實驗上の誤差に關しては殆ど顧慮する必要を認めない。さて此の濕式磨耗試験に於ては磨耗條件を考慮して水を少量添加して單に濕氣を與へたる場合、水を多量に添加したる場合、之等に就て鋼球を用ひざる無荷重の場合と鋼球を入れて荷重を與へたる場合を比較し尙又水の代りに酸溶液を用ひたる場合を實驗する事にし磨耗剤としてすべて砂を用ふる事にした。

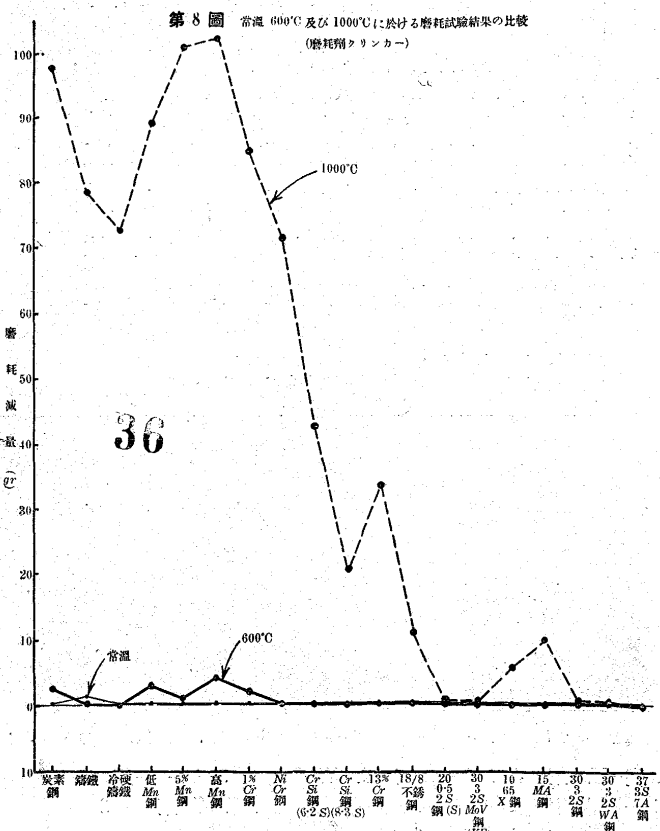
(1) 水を少量添加したる無荷重磨耗試験 前實驗装置に於てバーナーの代りに水管を取りつけ、磨耗剤たる砂をして 1 分間 20 滴宛、一定量の水を受けしめる様にした。

i) 表面狀況 炭素鋼より Cr-Si 鋼迄は試験片を取出したる時多少薄く銹色を呈し 13% Cr 鋼より高級のものは殆どすべて銀白色を呈し唯 20-0.5-2S 鋼 (S) のみ極く微量の銹色を表した。

ii) 磨耗量 第 9 圖の上圖は試験片の磨耗實驗前後に於ける硬度と夫等硬度の變化量を示し、下圖は磨耗量を表せるものである。而して下圖の A 曲線は水少量にして無荷重の場合の磨耗減量を示すものである。鑄鐵が最も磨耗量大にして炭素鋼及び冷硬鑄鐵は兩者殆ど同程度の減量を示し、低 Mn 鋼 5% Mn 鋼 高 Mn 鋼は之に次で Mn 含有量と共に少しづつ磨耗量は増加し燒入せる 1% Cr 鋼は低級材料として最も磨耗量少く Cr 量少き Cr-Si 鋼 (6-2S) の磨耗は比較的多い。Cr 量多き Cr-Si 鋼 (8-3S) より右側の各種高級材料は磨耗量甚だ少く唯之等の中で 20-0.5-2S 鋼 (S) のみ減量大になつて居る。

(2) 水を多量添加したる無荷重磨耗試験 此の場合には水管より水を送り常に開口 [O] に溢れる様にした何となれば drum は特に water tight に出來てゐなかつたからである。然し一方絶えざる水の補給により磨耗作用による熱の上昇をなくし好都合であつた。

357.29 = 9.45

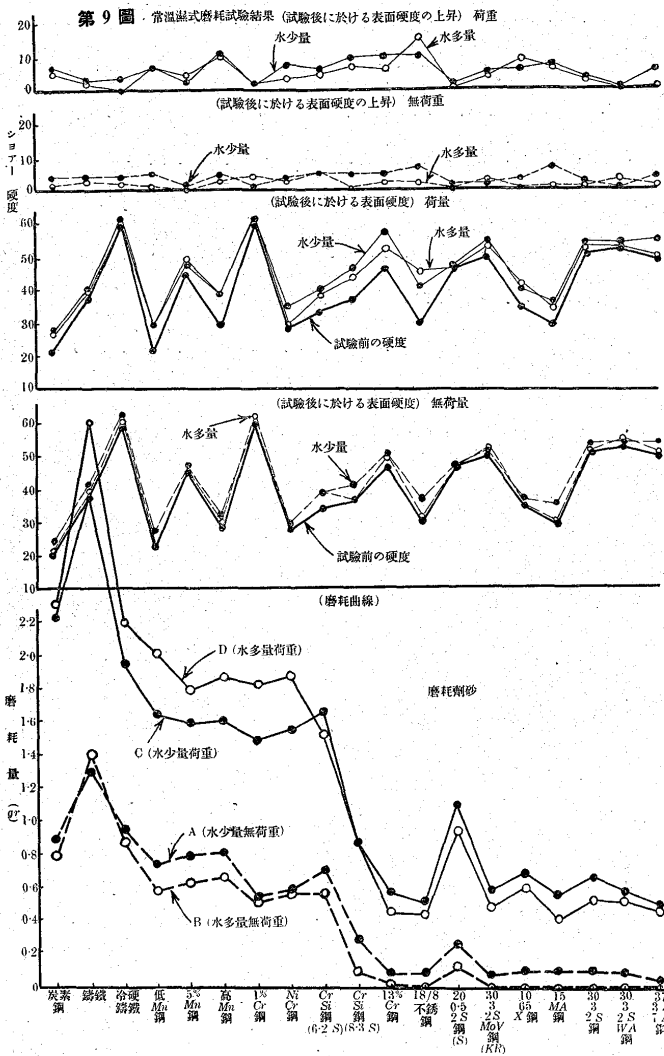


44 x 28 = 1232

37

40

並



用ひたる各種の試験材料と全く同様にした。而して水中に4時間浸漬したる後之を取出して大氣中に4時間保持し之を繰返し合計100時間の操作を行ふた。

腐蝕量の測定は全く銹の生成せる儘の重量を秤量し試験片の酸化による重量増加を以て腐蝕値と假定した。第10圖に見る如く鑄鐵は最も増量大にして其の他のものは程度こそ異なるが大體前實驗に於ける磨耗量の傾向に合致してゐる。而して既に第3圖B曲線に於ける如く、砂を相手としたる磨耗試験の場合には5% Mn鋼及び高Mn鋼、或は冷硬鑄鐵等は13% Cr鋼及び18/8不銹鋼と同様に良好なる成績を示したのであるが此の濕式試験に於ては硬度及び靱性の特性も材料の耐蝕性に影響され其の結果耐蝕性の大なる高級材料程一般に耐磨耗性が良好となつてゐる事が解る。尚低級材料にて鑄鐵 高級材料にて20-0.5-2S鋼(S)が比較的腐蝕量大なるは、前者は黒鉛の裂目が腐蝕促進の原因となり、後者は炭素量が他の高級材料に比して著しく多く此の炭素がCrと結びて炭化物を作るために地獄中のCrの溶解度が減じ従て耐蝕性の弱きを來たせるものと考へられる。

(4) 水を少量加へたる荷重磨耗試験 此の場合には鋼球1.5kgを裝入して荷重を與へた。

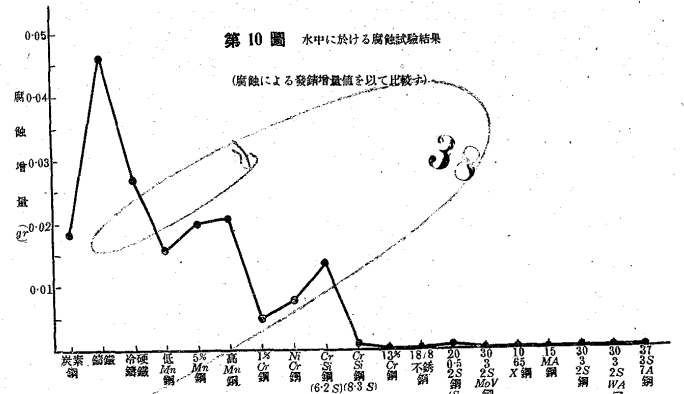
i) 表面狀況 乾式磨耗試験に於けるよりも試験片の表面の侵蝕による凹みの程度は少いが無荷重濕式試験に

i) 表面狀況 此の場合は砂が浮力によりて多少の影響を受け試験片に軽く當る事になるから單に物理的の磨耗作用は減ぜられるを以て表面の疵は稍輕き傾向がある。但し水多量の爲にCr-Si鋼より左側のものは銹の傾向、前の場合より稍多き様に思はれた。

ii) 磨耗量 第9圖のB曲線は此の結果を示し一般に水少量の場合よりも磨耗量は減少してゐるが鑄鐵のみ却て増加してゐる事は腐蝕の影響が水多量のために多くなつたものであらうと考へられる。

上述(1)及び(2)の實驗を通じて硬度と磨耗量との關係は明かでない。之は化學的影響が多分に入り來るからである。

(3) 水中に於ける各種材料の腐蝕試験 濕式磨耗試験が乾式常溫磨耗試験の場合に比較し實驗結果に於て大なる傾向の差異を生ぜるは化學的影響の結果である事が想像されるので、之を確める爲に腐蝕實驗を行ふた。即ち試験片の寸法を10×10×25mmとし之等の熱處理は磨耗實驗に



於ける場合よりも銹の傾向大となる。而してCr-Si鋼より左側のものが一般に銹び、高Mn鋼が最も甚だしい。高級材料も多少疵の程度は増加する。

ii) 磨耗量 第9圖C曲線に示す如く荷重を與へると無荷重の場合の2.5倍以上の磨耗量を示し、前同様に鑄鐵の磨耗量は最も大であつて炭素鋼之に次ぎ冷硬鑄鐵よりCr-Si(6-2S)鋼に至る迄はA-B曲線の場合に比して標準材料たる炭素鋼よりも著しく磨耗量が低い、而して

並 41

A B 曲線の場合には Mn 系材料は腐蝕影響が大なりし爲に 1% Cr 鋼 Ni-Cr 鋼 Cr-Si 鋼に比して磨耗大であったが、此の場合には荷重がかかりし爲に硬度並に靱性の影響が働いて腐蝕影響が減殺され其の結果之等の磨耗減量が接近せる現象を呈してゐる。高級材料では 20-0.5-2S 鋼 (S) を除く外は大體に於て大差なく何れも低級材料に比して著しく磨耗量が少ない。

(5) 水を多量加へたる荷重磨耗試験 此の場合には浮力の影響を受けて試験片は砂による磨耗作業が比較的減殺される譯であるが一方水多量の影響を受けて錆の生成が促進されるものも出来る事になる。

i) 表面状況 前と餘り變化ないが錆の程度が少し増大する傾向がある。

ii) 磨耗量 第 9 圖 D 曲線は此の結果を示すもので大體に於て曲線の傾向は C 曲線と相似てゐるが Ni-Cr 鋼より左側の低級材料は全部 C 曲線の場合よりも磨耗量の増加を示し之に反して 13% Cr 鋼より右側の高級材料は却て C 曲線の場合よりも磨耗量の減少を現はし、之等の中間に位する Cr-Si 鋼の場合は C D 兩曲線の隔り極めて少い。此の理由は前者は水多量のために錆の生成多くなり、後者は耐蝕性大なる故に化學的影響を受くる事少く且水多量に依り荷重の減少する結果、夫々磨耗量に影響を受けたものと考へる。Cr-Si 鋼は丁度この中間に位し餘り増減を現はしてゐない。

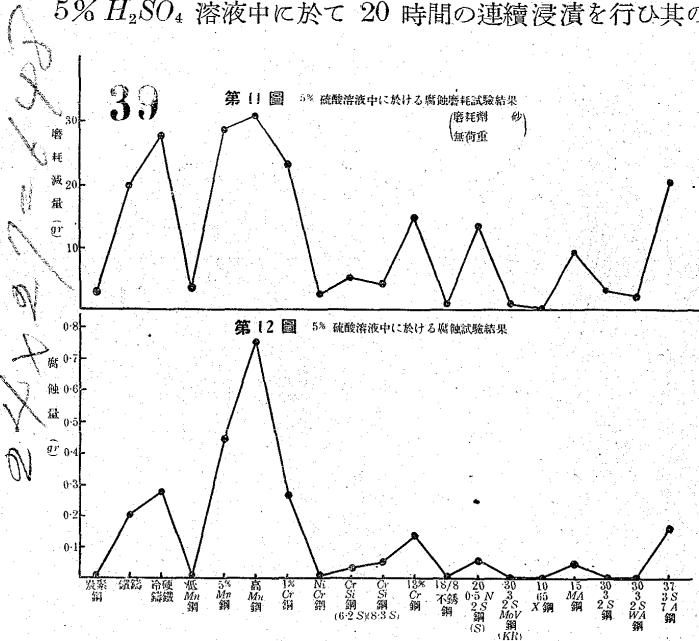
(6) 濕式磨耗試験に於ける試験片表面硬度の變化 第 9 圖の上方に示せる如く荷重なき場合には硬度の増加極めて少いが荷重ある場合には多少硬度の増加を來たし、就中高 Mn 鋼 18/8 不銹鋼は比較的この量が多い。而して概して此の常溫加工による硬度増加は濕式磨耗に於ても其の影響する所が窺はれる。

(7) 5% 硫酸溶液中に於ける磨耗試験 水多量の場合と同様に 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液をパイプを通じて drum の開口 (O) 迄溢れる様に補給して實驗した。

i) 表面状況 炭素鋼より Cr-Si 鋼迄は一般に錆びて居り、其の中で 5% Mn 鋼 高 Mn 鋼は稍綠色を帯び且微細なる pitting を生じ 1% Cr 鋼も多少 pitting を生じてゐる。Cr-Si (8-3S) 鋼は極めて薄き錆色を呈し 13% Cr 鋼は青黒色に侵され龜甲狀の模様を生じてゐるが其の他の高級材料は銀白色を呈し、唯 20-0.5-2S 鋼 (S) は薄灰色に褐色の錆色を見せてゐる。

ii) 磨耗量 第 11 圖は此の磨耗量を示す。炭素鋼及び低 Mn 鋼 Ni-Cr 鋼 Cr-Si 鋼等は低級材料側で磨耗量最も少く鑄鐵 冷硬鑄鐵 Mn 鋼 1% Cr 鋼等は之に反して著しく磨耗減量大である。高級材料では 18/8 不銹鋼 30-3-2 S-MoV 鋼 (KR) 10-65-X 鋼 30-3-2S 鋼 30-3-2S-WA 鋼等は良好なる成績を示してゐる。

今別に之等の材料より試験片 (10×10×25mm) を作り 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液中に於て 20 時間の連續浸漬を行ひ其の



腐蝕減量を調査したるに第 12 圖の如き結果を得た。之で見ると高 Mn 鋼が最も侵され (黄金色を呈す) 次に 5% Mn 鋼 (薄灰色) で 1% Cr 鋼 (黒色) 及び冷硬鑄鐵 (チル面は黄褐色、其の他の部分は灰黒色を呈す) は之に次ぎ鑄鐵及び 13% Cr 鋼、37-3 S-7 A 鋼も相當に蝕腐量多く、全く前實驗の磨耗量の結果とは一致しないがその傾向は似てゐる處がある。

之によつて酸溶液の存在に於て非金屬物に對する耐磨耗性材料を得るには、なるべく其の酸に對する耐蝕性の大なるものを選択すればよいのであるが今磨耗試験の結果と腐蝕試験の成績とを正しく對照して見ると腐蝕量に於て僅かに Cr-Si 鋼に劣てゐる 13% Cr 鋼は磨耗に於て著しき差異ある減量を示してゐるから單に腐蝕試験の結果のみに信頼するは危險である。Cr の硫酸に弱き事は周知の事實で之に Si が加はり又 Ni が加はると著しく硫酸中に於ける耐磨耗性を改善する事が出来る。本實驗の結果から考へると硫酸や砂を含む坑内水を處理するポンプの構成材料に冷硬鑄鐵或は高 Mn 鋼を用ひて失敗せる例を聞いてゐるが、當然の事であつて寧ろ斯様な所には安價なる材料と

してはパーライト鋼,高級材料としては 18/8 不銹鋼 30-3-2 S-MoV 鋼或は 10-65-X 鋼等が推奨される所であらう。

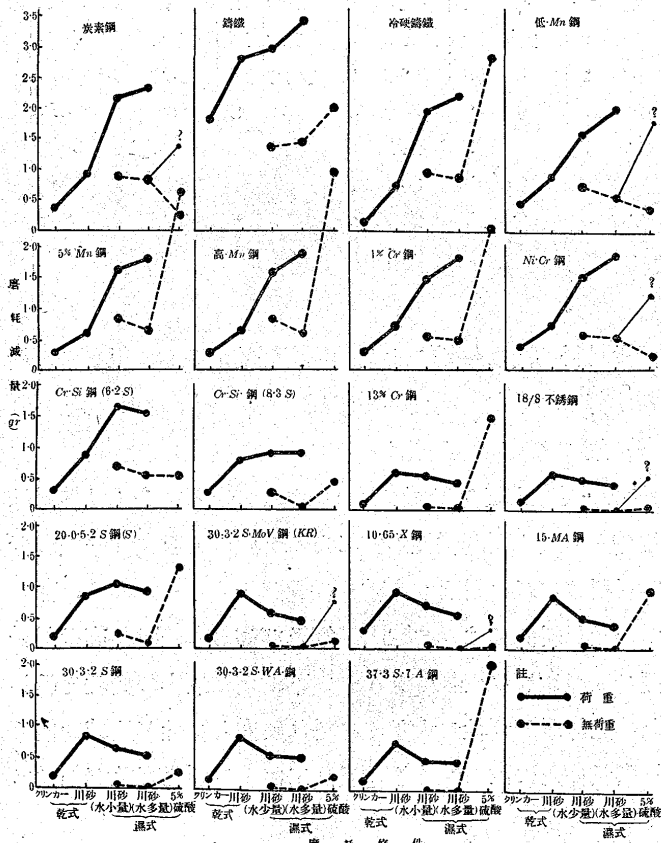
### VIII 常温に於ける磨耗条件と試験片の磨耗量との関係

上記実験の内で常温に於ける磨耗試験の結果より磨耗条件と磨耗量との関係を求めると第 13 圖の如くなる。即ち太き實線よりなる曲線は荷重を加へたる場合にして、炭素鋼より Ni-Cr 鋼に至る迄は乾式の場合よりも湿式の場合の方が磨耗量大であつて乾式に於ては磨耗剤の硬い場合の方が磨耗量多く、湿式に於ては水少量を加へたる場合即

$36 \times 27 = 972$

40

第13圖 常温に於ける磨耗条件と磨耗量との関係



ち磨耗剤に濕り氣を與へたる程度の場合よりも水を多量供給したる場合の方が磨耗量が多くなつてゐる。然るに Cr-Si(6-2S)鋼になると湿式に於て寧ろ水多量の場合の方が磨耗減量が少くなり、Cr-Si(8-3S)鋼では磨耗剤が砂である時、乾式が湿式も殆ど差異がなくなり、13% Cr 鋼よりは却て乾式の場合よりも湿式の方が磨耗量が少い。其の他高級材料は之と似たる現象を示すが要するに之等は水に對して耐腐蝕性強き合金にして此の影響が磨耗試験の結

果に現はれてゐるものである、唯 20-0.5-2 S 鋼 (S) のみは Cr-Si(8-3S)鋼と殆ど同様な傾向を示し、水多量の場合も磨耗量が他の高級材料の如くには減少しない。

圖中點線よりなる曲線は砂を磨耗剤とし無荷重磨耗試験の結果を綜合せるものにして、一般に水少量の場合よりも水を多量供給したる場合の方が磨耗量が少い。唯一つ鑄鐵のみ此の例外として反對の現象を示してゐる。而して 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液を供給したる場合は炭素鋼 低 Mn 鋼及び Ni-Cr 鋼等のパーライト組織のものゝ更に磨耗量の減少を示してゐるが其の他のものは殆ど増加の傾向を示し、殊に鑄鐵 冷硬鑄鐵 Mn 鋼 1% Cr 鋼 13% Cr 鋼 20-0.5-2 S 鋼 (S) 15-MA 鋼並に 37-3 S-7 A 鋼等は著しく増加せるを見る。但し鑄鐵が比較的増加量の少きを示せるは黒鉛が表面を覆ひその腐蝕を阻止するものと考へられる。

其の他の高級材料、即ち 18/8 不銹鋼 30-3-2 S-MoV 鋼、10-65-X 鋼 30-3-2 S 鋼 30-3-2 S-WA 鋼等は H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液中の磨耗量の上昇が少い。但し H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液を用ひる磨耗実験は減量の甚しき材料あるために所要の 100 時間繼續をなす事を得ずして 20 時間に止めたる結果、パーライト組織の材料が水の場合より其の磨耗量の少きを呈せるが、若し 100 時間の實驗を行ひ假りに其の磨耗量が時間に正比例して 5 倍になるものと假定し H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液の場合の磨耗量最も少き 18/8 不銹鋼 30-3-2 S-MoV 鋼 (KR) と 10-65-X 鋼の減量を 5 倍したるもの即ち圖中細き實線にて示すものと之等パーライト組織鋼との比較をなすに後者は前者の 2 倍以上の減量となり、矢張り斯る場合には Ni を含有する高級材料の必要性が痛感される次第である。

### IX 各種材料の非金屬物に對する磨耗値の比較

以上實驗し來りし種々の場合に於ける各種材料の比較的磨耗値を最も明瞭に表はすために標準材たる炭素鋼の磨耗量を 100 とし之に對する其の他材料の比較的磨耗値を計算すれば第 4 表の如くなる。而して之等 19 種類の材料の耐磨耗性の順番を之に附隨して記入した。即ち 100 より大なる磨耗値を有するものは炭素鋼より耐磨耗性の劣れる事を示すもので之より小なるものは耐磨耗性の優れる事を意味するものである。尙負値を有するものは其の絶対値が小なる程高温耐磨耗性に富むもので、高温の場合の耐磨耗性

第 4 表 各種材料の比較磨耗値並びに耐磨耗性の順序

材 質	乾式磨耗試験 (鋼球 1.5kg)						濕式磨耗試験 (磨耗劑 砂)											
	常 溫		600°C		1,000°C		水 少 量		水 多 量		5%硫酸溶液							
	耐磨耗性の順序	比較磨耗値 (磨耗剤 クリナー)	耐磨耗性の順序	比較磨耗値 (磨耗剤 砂)	耐磨耗性の順序	比較磨耗値 (磨耗剤 クリナー)	耐磨耗性の順序	比較磨耗値 (無荷重)	耐磨耗性の順序	比較磨耗値 (無荷重)	耐磨耗性の順序	比較磨耗値 (無荷重)						
炭 素 鋼	16	100.0	18	100.0	19	100.0	17	100.0	17	100.0	18	100.0	17	100.0	18	100.0	6	100.0
鑄 鐵	19	471.0	19	299.1	13	-41.6	14	80.5	19	146.7	19	133.5	19	178.3	19	148.8	14	750.0
冷 硬 鑄 鐵	1	40.3	7	78.8	12	-33.7	13	74.5	18	106.0	17	87.4	18	109.4	17	95.0	17	1,046.0
低 Mn 鋼	18	117.0	15	91.6	16	80.5	16	91.4	14	82.0	15	73.2	14	73.7	16	87.2	8	133.4
5% Mn 鋼	10	65.1	3	68.4	15	43.4	18	103.6	15	89.6	13	71.4	15	80.2	12	77.4	18	1,090.0
高 Mn 鋼	12	68.0	4	71.8	18	96.2	19	105.0	16	91.4	14	72.3	16	83.0	14	80.5	19	1,187.0
1% Cr 鋼	15	77.5	6	76.4	17	94.6	15	86.7	11	60.2	11	66.8	11	63.4	13	79.2	16	370.0
Ni-Cr 鋼	17	102.5	8	79.9	9	-4.3	12	73.2	12	64.7	12	69.2	13	69.6	15	80.7	5	91.4
Cr-Si 鋼 (6-2S)	13	68.5	10	86.0	6	-3.4	11	43.4	13	78.2	16	74.1	12	69.6	11	65.7	10	201.0
Cr-Si 鋼 (8-3S)	11	67.2	9	82.0	8	-4.2	9	21.2	10	30.9	9	38.6	9	10.2	9	37.4	9	161.7
13% Cr 鋼	2	43.2	2	65.9	14	0.1	10	34.4	3	8.0	4	25.6	8	1.9	3	18.8	13	557.0
18/8 不銹鋼	8	52.7	1	63.3	10	-5.5	8	11.2	4	8.4	2	22.4	2	0.8	2	18.3	2	40.0
20-0.5-2S 鋼	7	51.4	14	91.3	3	-1.9	5	0.8	9	28.5	10	49.3	10	12.8	10	40.4	12	493.0
30-3-2S-MoV 鋼	6	50.4	16	94.2	2	-1.6	2	0.7	2	6.9	6	26.5	7	1.7	5	20.3	3	57.8
10-65-X 鋼	14	76.0	17	97.3	5	-2.6	6	5.9	6	9.1	8	30.9	4	0.9	8	25.0	1	27.3
15-MA 鋼	9	53.5	12	87.8	4	-2.2	7	9.9	7	9.3	3	24.2	6	1.5	1	17.4	11	333.0
30-3-2S 鋼	5	47.3	13	88.3	11	-6.1	4	0.7	8	9.6	7	30.1	1	0.5	7	22.3	7	105.0
30-3-2S-WA 鋼	4	47.0	11	86.5	7	-3.7	3	0.7	5	8.4	5	25.9	5	1.3	6	22.1	4	85.2
37-3S-7A 鋼	3	46.8	5	75.9	1	-1.4	1	0.1	1	3.8	1	21.4	3	0.9	4	19.4	15	766.0

の順序は負値を有するものゝ内で絶対値の小なるものを耐磨耗性優秀なるものと認めて次に正值の小なる値を有するものから大なる値を有するものに及ぼし順序を記入した。

Ⅹ 總 括

種々の状態に於ける金属材料の磨耗を研究する爲 tube mill 式試験法に依り乾式及び濕式状態に於て非金屬物(クリナー及び砂)を相手とし 炭素鋼 鑄鐵 冷硬鑄鐵 低 Mn 鋼 5% Mn 鋼 高 Mn 鋼 1% Cr 鋼 Ni-Cr 鋼 Cr-Si 鋼 (6-2S 及び 8-3S) 13% Cr 鋼 18/8 不銹鋼 20-0.5-2S 鋼 30-3-2S-MoV 鋼 10-65-X 鋼 15-MA 鋼 30-3-2S 鋼 30-3-2C-WA 鋼 37-3S-7A 鋼等の低級及び高級材料合計 19 種類に就て磨耗試験を行ひ之等の耐磨耗性を比較研究した。

- 1) 乾式磨耗試験は常溫 600 及び 1,000°C に於て荷重をかけ 100 時間連続實驗を行った。
- 2) 常溫乾式磨耗試験に於ては硬度比較的低きクリナーを磨耗劑としたる場合は鑄鐵は他の材料に比し全く飛び離れて甚しき磨耗量を示し、之に反して冷硬鑄鐵及び 13% Cr 鋼は最も優秀なる耐磨耗性を現はし、その他一般に

低級材料は高級材料に比して稍磨耗量が多い。但し冷硬鑄鐵は荷重が増加し磨耗時間が長くなると 5% Mn 鋼、高 Mn 鋼に劣る傾向が窺はれる。

3) 硬度比較的高き砂を磨耗劑としたる場合には鑄鐵は相變らず最も耐磨耗性が劣てゐるが此の場合には一般に低級材料は高級材料よりも稍磨耗量が少なくなつてゐる。而して低級材料側では 5% Mn 鋼及び高 Mn 鋼、高級材料側では 13% Cr 鋼及び 18/8 不銹鋼が最小の磨耗を呈した。之等耐磨耗性の大なる材料は硬度と靱性が比較的優れ且磨耗作用に依て受くる常溫加工による硬化現象が相當に多い。

4) 600°C に於てクリナーを磨耗劑とせる場合には低級材料側に於ては鑄鐵及び冷硬鑄鐵を除き一般に磨耗量大で唯 5% Mn 鋼が比較的良好的耐磨耗性を示し Ni-Cr 鋼より高級材料は磨耗量極めて微量である。此の場合には材料の耐磨耗性は主として其の化學成分と耐酸化性によつて左右せられ、之に材料の硬度が多少關係する。

5) 1,000°C に於てクリナーを磨耗劑とせる場合には炭素鋼より Cr-Si 鋼迄の低級材料は磨耗量が頗る大で之に反して高級材料は 13% Cr 鋼を除いて一般に磨耗量

が少い。これは酸化作用の影響頗る大なるによるもので、全く高温度に於ける材料の耐磨耗性は、其の化学成分と耐酸化性の如何によつて支配される。

6) 常温、600 及び 1,000°C に於けるクリンカーを相手とせる乾式磨耗試験の結果を比較すると常温並に 600°C の磨耗量の差は低級材料の側に於て認められるが其の差異極めて少い。然るに 1,000°C の高温になると低級材料は格段の磨耗を生じ、前者に比して雲泥の差違を生ずる。

7) 砂を磨耗剤とせる湿式磨耗試験に於て無荷重の場合には水少量或は水多量を供給した場合、何れも一般に Cr-Si 鋼 (6-2S) 迄の低級材料はこれより高級の材料に比して磨耗量頗る多く、就中鑄鐵の磨耗は最も甚しい。而して水多量の場合は概して水少量の場合よりも磨耗量が少いが、鑄鐵のみ之と反対の現象を示してゐる。而して此の場合は材料の水に対する耐腐蝕性が大きいに關係するもので腐蝕試験の結果と其の傾向が一致する。

8) 湿式磨耗試験に於て荷重を加へたる場合は無荷重の場合よりも一般に 2.5 倍以上の磨耗を生じ、前同様に Cr-Si 鋼迄の低級材料は之より高級なる材料に比して磨耗量

が多い。而して低級材料側に於ては水少量の時が多量の時よりも磨耗量が減少するが高級材料側に於ては之と反対なる現象を生じ尙前同様に鑄鐵は常に最大の磨耗量を示し高級材料では炭素量多き 20-0.5-2S 鋼 (S) が比較的不良なる結果を與へた。

9) 5%  $H_2SO_4$  溶液の存在せる湿式磨耗試験に於ては材料の化学成分に影響する所大にして従て磨耗に重要なる硬度等には關係する所少く複雑なる結果を示した。鑄鐵、冷硬鑄鐵、5% Mn 鋼、高 Mn 鋼、1% Cr 鋼及び Al を多量に含む高級材料は磨耗量多くパーライト組織の鋼材及び Si, Ni を含む高級材料は磨耗少い。就中 18/8 不銹鋼及び 10-65-X 鋼は最も良好である。

終りに臨み本研究の實驗を爲すに當り、終始助手として多大の努力を拂はれたる本吉儀四郎及び村岡寛兩氏に謝意を表し、又高温耐磨耗性の實驗に當り深甚なる援助を與へられたる酒井温氏の御厚意を謝し、且、本報告の發表を許可されたる神戸製鋼所田宮社長、淺田常務取締役並に川上取締役の各位に對し深厚なる感謝の意を表する次第である

### 本邦に於てトーマス製鋼の創始

同製鋼法に就ては本邦製鐵業發展の功勞者且權威者たる周知の日本鐵鋼協會前會長 日本鋼管株式會社取締役、今泉博士が嘗て同法を本邦に於て採用すべきを主唱（鐵と鋼第 15 年第 8 號昭和 3 年 11 月 28 日日本鐵鋼協會第 3 回研究部會に於ける「本邦に於てトーマス製鋼法採用を可とする意見」参照）されつゝありしが多年の素志茲に實現せらるるに至りたるは時下各種製鋼法に於て重要原料なる屑鐵の缺乏を來しつゝある今日最も時宜を得たるものにして誠に邦家の爲め欣快の至りなり將來の大成功を禱つて止まぬ

日本鋼管株式會社にては時局柄鐵鋼需要燃料需給統制の必然的なるに鑑み川崎市に去る昭和 12 年 1 月よりトーマス製鋼の施設を計畫着工し居たるが此程工事成り去る昭和 13 年 6 月 25 日盛大なる火入式を舉行し越えて 6 月 27 日主唱者今泉博士の第 72 回の誕生日をトシ轉爐の初吹きをなして操業を開始せられたる處甚好成績を得られたる由誠に慶賀の至りなり實に本邦製鐵史上に更に新記録を加へたと云ふべし

火入式の概況次の如し

昭和 13 年 6 月 25 日午後 3 時半轉爐の前に祭壇を設け重役並に川崎扇町兩工場長を始め關係掛員請負者參列して神式により同工場の作業の發展と安全とを祈願して各代表者により玉串を奉獻して式を終りたりと

又作業開始の 6 月 27 日は指導並に師範役の獨逸技師を始め各職工に至るまで萬遺漏なき準備を緊張の内に終り午前 11 時 50 分初めての吹製を行ひたるに作業順調にして引續き作業を進めつゝある由なり

仄聞する處によれば操業日尙淺きに拘らず鋼質良好にして生産量も所期に近く行きつゝあるも全生産機能の發揮は各係員の熟練に待つ處大なる爲め未だ其域に達せざるも益々良好なる経過にある由なり

轉爐 1 基の容量 20 吨にして年生産 30 萬吨に達する豫定なりとの事なり。