

高温度に於ける磨耗

藤井芳郎*

ABRASION AT HIGH TEMPERATURE

By Yoshiro Fujii.

SYNOPSIS:—From the abrasion test of various metals which are using as cylinder liner and piston packing ring of internal combustion engine in the lubricating oil at 200°C, the author has obtained following result:

1. The pair of nitrided steel and 0.5-0.6% C-steel is the best. 2. The pair of cast iron is not good, the loss of weight attains to 10-30 times of former case. 3. There is very few relation between the abrasion at room temperature and the temperature of the cylinder wall. 4. The temperature of the cylinder wall may be lower than 200°C and rather good lubricating condition.

I. 緒言

従来各所にて行はるる磨耗試験は直接金属面を摺合はす dry test が多く潤滑油を使用した wet test の場合でも概ね室温で行つて居るが、これ等の試験の結果から相當高温度に於ける磨耗状態を察知することは

イ、温度に対する oiliness 及び粘度の變化 ロ、Sludge の生成 ハ、油による腐蝕

等により摩擦状態の變化が大であるため殆ど不可能である

近來 Diesel 機關の發達に連れ篋と衍帶環との磨耗の問題は頗る重大となつて來たが未だ實用状態に近い高温状態に於ける磨耗に就て研究したものが無いので篋内の磨耗状態を明らかにすると共に材料の適當な組合せに就て研究を行つた。

II. 磨耗に関する従來の研究

機械構成部に於ける摩擦部は種々あるが本論文に於ては篋と衍帶環との關係のみを論及する。蒸氣機關及び初期の内火式機關にては鑄鐵を使用して居つた關係上鑄鐵間の磨耗に関する論文が頗る多い。

1) 成分と磨耗度との關係に就ては Lehman¹⁾ Piwowarsky,²⁾ Hurst,³⁾ Lowry,⁴⁾ Brinell⁵⁾ Western-Machinery⁶⁾ World,⁶⁾ Boegehold,⁷⁾ Bornstein,⁸⁾ 柴田⁹⁾

* 横須賀海軍工廠

1) Lehman: Giess. Zeit. 23 (1926) 567.

2) Piwowarsky: Giess. 43 (1927) 743.

3) Hurst: Foundry. 55 (1927) 649.

4) Lowry: Jour. Soc. Auto. Eng. 20 (1927) 227.

5) Brinell: Brit. Cast Iron Res. Ass. (1928) 10.

6) West Machinery World: Giess. Zeit. 25 (1928) 94.

7) Boegehold: Proc. Ame. Soc. Test. Mat. 29 (1928) 115.

8) Bornstein: dit. (1929) 166.

9) 柴田: 工業雜誌 66 (1930) 125.

の研究があつてその結果を綜合すると

イ、化合炭素の量と共に耐磨耗性増加し Eutectoid 成分にて最大値をとる。

ロ、Ni, Mn 等の黒鉛化を妨ぐるものは耐磨耗性を増加し、黒鉛化を促進する、Si は耐磨耗性を減少せしめる傾向がある。従つて黒鉛の効果は認め難い。

ハ、含磷量の増加と共に耐磨耗性が增加する。

2) 機械的性質と磨耗度との關係に就ては Lehman,¹⁾ Kühnel¹⁰⁾ Loewe, (自著), German Committee of Iron Founders and Railroad¹¹⁾ 柴田⁹⁾ の研究があつてその結果を綜合すると

イ、抗張力 20 kg/mm² 以下のものは磨耗量大なる傾向がある。

ロ、大體の傾向としては硬きものの方磨耗小であるが例外が頗る多い。

猶炭素鋼の磨耗に就ては鈴木氏¹²⁾の詳細な研究があるが dry, 且 rolling contact であるから本研究の参考となる點が少ない。

III. 供試材料

Diesel 機關の入籠 (Liner) 及び吸錨帶環 (Piston packing ring) として使用せられて居るもの並に將來使用し得る見込のあるものを準備した。

1) 成分

イ、鑄鐵 提記の成分のものは前項の文獻を参照し適當と認る成分のものを選定したのであつてその熱處理は 400, 500, 550, 600, 700, 800, 900°C の諸温度で 1,

¹⁰⁾ Kühnel: Giess. Zeit. 24 (1927) 533.

¹¹⁾ German Committee: Brit. Cast Iron Res. Ass. (1928)12

¹²⁾ 鈴木: 金屬の研究 (1927) 219.

符 號	用 途	T.C	C.C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
B	笛 入 籠	3.28	0.74	1.08	1.12	0.066	0.063	—	—
C	吸 鈎 衍 帶 環	3.29	0.84	1.21	0.85	0.039	0.073	—	—
D	同 上	2.41	0.73	1.82	0.56	0.146	0.018	1.587	0.19

4, 12, 14, 24h の各時間試料を焼鈍して dry の状態で磨耗試験を施行した結果この種の成分では 500~550°C 12h 焼鈍したものが最も磨耗の少いことを確かめたので B, C の兩鑄鐵はこの熱処理を採用した。D は鑄放しの硬度が 260 に達し機械加工が困難であると共に他の鑄鐵との硬度差が著しく大であるから 900°C 2h 焼鈍することとした。

ロ、炭素鋼 炭素量 0.1, 0.2, 0.35, 0.5, 0.6, 0.7, 0.9% の 7 種の普通炭素鋼を夫々適當の温度にて焼鈍した。磨耗試験は何れも焼鈍状態で行つた。

ハ、窒素鋼

符 號	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al
F	0.28	0.19	0.45	0.014	0.015	1.89	1.07
E	0.30	0.12	0.38	0.037	0.033	1.45	0.43

何れも著者が先に窒素による表面硬化法に就て研究の結果適當と認めたもので F 鋼は特に可鑄性の點を考慮し Cr 及 Al の量を硬化可能の最少限度に止めたものである。

E は 1,000°C 油焼入 550°C 油焼戻

F は 900°C 爐冷

其の機械的性質は

符 號	彈性限 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸度% (50mm)	断面收縮率%	ブリネ ル硬度	
E	76.8	95.2	23.08	64.6	278	鍛 鍊 材
F	27.9	48.99	24.72	60.5	149	鑄 造 の 儘

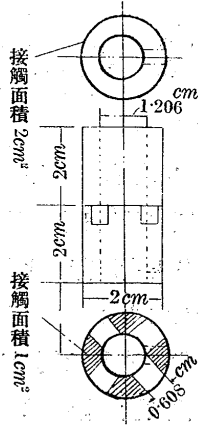
2) 硬度 ビッカ、ピラミッド硬度計を使用した。

窒 化 鋼	E	F	鑄 鐵	B	C	D	
窒化後の硬度	1,003~1,046	820		201	183	218	
炭 素 鋼 C%	0.1	0.2	0.35	0.5	0.6	0.7	0.9
E に 對 し 摩 擦 せる 物	145	152	196	276	302	297	327
F に 對 し 摩 擦 せる 物	134	147	182	278	287	292	327

3) 試料の形状 第1圖に示した通り内徑 1.206cm, 外徑 2.0cm, 高 2.0cm, 接觸面 2.0cm² であつて下部の試料には磨耗によつて分離した物質が grinding 作用をなすのを防止するため切れ缺を附して落下せしめた。

4) 表面の状況 試料は何れも 00 の研磨紙で磨き最初室温に於て礦油中で實際試験と同様に 50,000 回摺合せを行ひ表面の摺傷が皆無となつ

第 1 圖



てから秤量して試験を開始した。

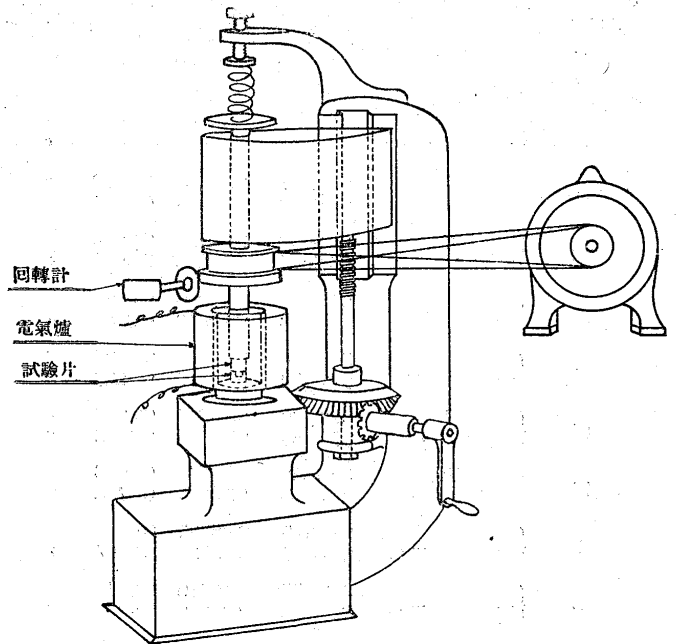
IV. 實 驗 装 置

1) 磨耗の形式 金屬が機械構成部の一分子とし磨耗を受くる場合は種々あつて夫々摩擦の状況を異にするためその使用状態に則する試験を行はなければその結果の應用價値は殆どないと云ふも過言でない。故に可能磨耗試験機と稱すべきものがない。

最も多いのは sliding 及び rolling contact の 2 種である。

2) 磨耗試験機 入籠對吸鈎衍帶環が sliding contact であるから著者は回轉する drum の端面に試料を Slide せしめる鈴木氏²⁾の式を採用した。其の装置は第2圖に示す通り Ansonia 式潤滑油試験機の擦合部を改造したもので上下の試料を筒内用礦油を充した外筐内に格納し其の外外部をニタロム線電氣爐を以て加熱し常に油の温度を 200°C に保持した。試料は上部の方が電動機によつて毎分

第 2 圖 内火機關入籠並衍帶環材料高温磨耗試験機略圖



80.5m の速度で回轉し負荷は發條で行つた。又上下の試料が常に全面接觸をする様に下部試料の下に球を入れた。

V. 實 驗 經 過

1) 實驗種類 上部試料を一定にし、下部の試料を種々變化させて減耗量を計測した。

	上部試料	荷重 kg/cm^2	摺合回数
第 1 回	窒化鋼 E	50	3,000,000
第 2 回	同 F	{ 50 10	3,000,000
第 3 回	衍帶環用鑄鐵 C	{ 50 10	{ 1,200,000 3,000,000

試験温度 200°C, 箱内用礦油

2) 第 1 回實驗 上部試料窒化鋼 E

試験番號	試料	重量 (g)		減量 (g)
		試験前	試験後	
1	{ E 0.9% C Steel	27.0740	27.0633	0.0107
		30.3035	30.2545	0.0490
2	{ E 0.7% C "	30.4892	30.4880	0.0012
		27.4498	27.4435	0.0063
3	{ E 0.6% C "	30.2896	30.2872	0.0024
		27.3654	27.3625	0.0029
4	{ E 0.5% C "	27.4600	27.4590	0.0010
		30.4765	30.4752	0.0013
5	{ E 0.35% C "	30.2412	30.2363	0.0049
		27.2714	27.0679	0.2035
6	{ E 0.2% C "	30.4075	30.3911	0.0164
		27.3402	26.9721	0.3618
7	{ E 0.1% C "	30.2324	30.2276	0.0048
		26.8497	26.5497	0.3000
8	{ 鑄 鐵 C	30.5500	30.5482	0.0018
		18.3107	17.2899	1.0208

第 2 回實驗 上部試料窒化鋼 F

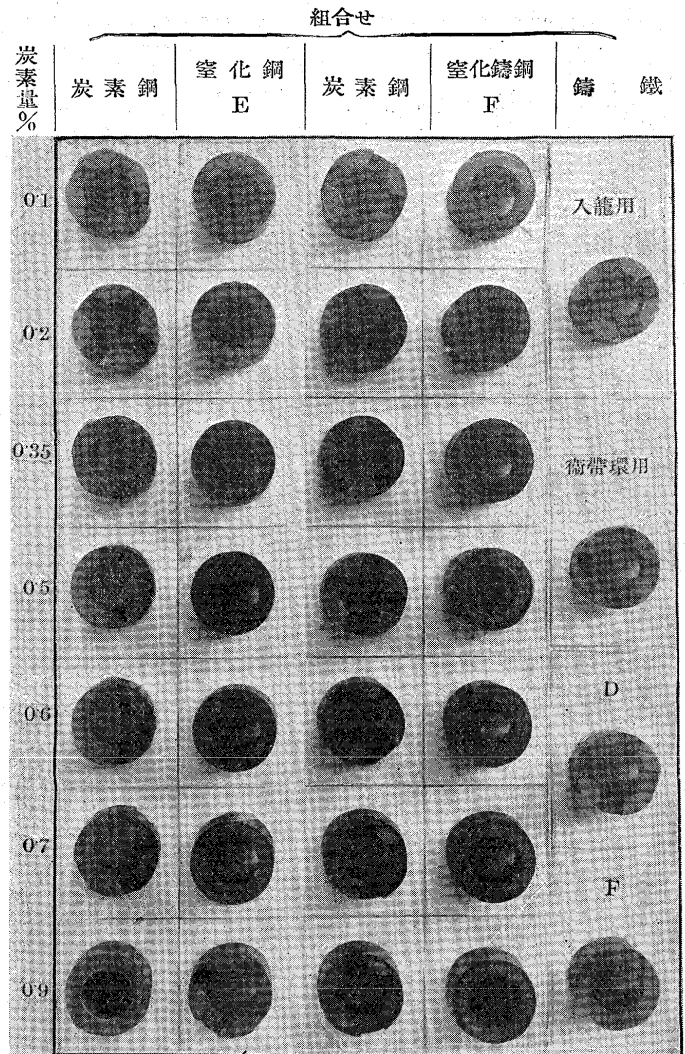
試験番號	試料	重量 (g)			荷重 kg/cm^2
		試験前	試験後	減量	
9	{ F 0.9% C Steel	30.1392	30.1392	0	50
		26.6978	26.6978	0	"
10	{ F 0.9% C "	30.1400	30.1400	0	"
		27.0598	27.0598	0	"
11	{ F 0.7% C "	29.8997	29.8985	0.0012	"
		27.2812	27.2795	0.0015	"
12	{ F 0.6% C "	29.9123	29.9120	0.0003	"
		27.2605	27.2600	0.0005	"
13	{ F 0.5% C "	29.7820	29.7800	0.0020	"
		26.9478	26.9418	0.0060	"
14	{ F 0.35% C "	30.0370	30.0343	0.0027	"
		27.4352	27.4315	0.0037	"
15	{ F 0.2% C "	29.6290	29.6240	0.0050	"
		27.5086	27.4010	0.1076	"
16	{ F 0.1% C "	30.1628	30.1540	0.0088	"
		27.8803	27.3065	0.5738	"
17	{ 鑄 鐵 C	29.8915	29.8905	0.0010	"
		23.4337	23.3530	0.0807	"
18	{ 鑄 鐵 D	30.0455	30.0410	0.0045	"
		24.0055	24.9800	0.0255	"

第 3 回實驗 上部試料 鑄鐵 C,

試験番號	試料	重量 (g)			荷重 kg/cm^2	摺合回数
		試験前	試験後	減量		
19	{ 鑄 鐵 C	17.1720	16.9630	0.2090	50	1,200,000
		24.4170	24.2988	0.1182		
20	{ 鑄 鐵 B	24.3854	24.2830	0.1024	10	3,000,000
		23.6490	23.5865	0.0625		

摩擦面の状況は第 3 圖に示す通りであつて低炭素鋼は摺り減つた部分だけ側方にはみ出して居る。

第 3 圖 磨耗試験後の試料の状況



3) 炭素含有量と磨耗量との關係 窒化鋼と炭素鋼との關係は第 4, 5 圖に圖示せる如く炭素の含有量の増加するに従つて次第に相對的に磨耗量減少し E 鋼では 0.5% C, F 鋼では 0.9% C にて最少値となる。

同一の試料に對して硬度の大なるもの必ずしも磨耗量小となるものではない。その表面の層の状況、礦油に對する腐蝕、硬度の差等によつて左右されるものであるが大體この種窒化鋼に對しては 0.5~0.6% C が最適であると思考する。

0.35% C 以下のものは柔軟なるため磨耗の際へばりて周圍に凸出し擦面を傷つく恐れがあるが 0.5% C 以上になると實用荷重よりも數倍大なる 50 kg/cm^2 の様な荷重に對してもこの缺點がない。

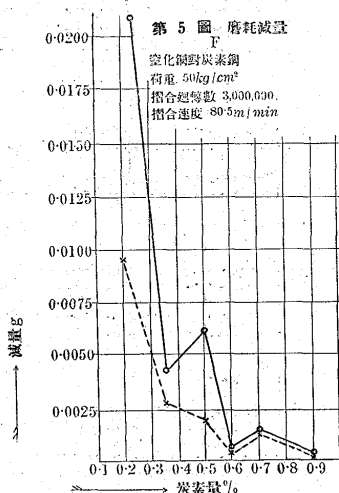
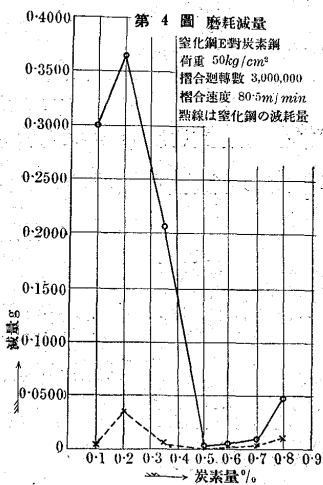
4) F 鋼は鑄造した儘でその硬度は 800 内外であるが磨耗試験の結果は 1,000 以上の E 鋼の場合と大差がない

5) 鑄鐵の磨耗 入籠用 B 鑄鐵及び衍帶環用 C 鑄鐵を

組合せ 50 kg/cm^2 を荷重した際は摺合面の油膜の維持困難なるため振動甚だしくその磨耗量も炭素鋼の場合に比して400倍にも達した。

故に荷重を實際使用状態と略等しい 10 kg/cm^2 に下降せしめたところ振動は止まり磨耗量は前者の1/2に減じたが炭素鋼に比すると猶200倍大である。

窒化鋼に対する鑄鐵の磨耗は窒化鋼そのものの磨耗は小であるが鑄鐵の磨耗は頗る大であつて特に行帯環材に於て甚だしい。 Ni-Cr を含有せしめた鑄鐵は比較的良好である。



VI. 温度と磨耗との關係

鑄鐵 B, C に就て常温の油中で 50 kg/cm^2 の荷重を加へ1,000,000 回摺合せたる際の磨耗量は僅に

B 42 mg , C 61 mg

なりしに對し 200°C に加熱すれば約40倍の磨耗量に達し、然も油膜が弱くなるため金属面が直接接触し甚だしい振動を伴ふに至る。

この原因は温度の上昇に伴ひ油の oilness 不良となり、粘性減ずるため油膜の維持困難となると共に油自身も高温のため Cracking を起して Sludge を析出し擦面に研磨作用を起さしめるためである。猶高温となるに連れ油の腐蝕性も増加するため表面の状況が不良となり著しく磨耗が促進することとなる。故に高温に於ける耐磨材料としては材料自身の表面が平滑であると共に油に對する吸着性並に耐蝕性が大なることを要するのであつて窒化鋼は比較此れ等の點にて優れて居るために高温の磨耗に對して良好な成績を示すのである。

VII. 窒化膜の壽命

現在箭面の窒化は飛行機及び自動車用の小物には盛に行はれて居つて彼等の磨耗量少くその利點の大なることは世に認めらるる所であつて本實驗の結果も有利なることを示して居る。

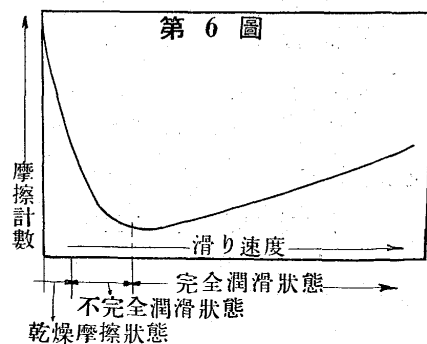
併し從來の用途は何れも小型の箭であつて窒化層が磨滅すれば再窒化するか若くは新規の箭を換装すること容易であるが Diesel 機關の如き大型のものでは窒化層の壽命は大なる問題である。

本實驗前後の硬度並にその膜の厚さ變化を計測すると約100,000mの摩擦度では殆ど磨耗して居らないが實用状態では摩擦速度が頗る大であるから再窒化のため換装が容易である様にその構造を計畫することが安全である。

VIII. 箭内摩擦狀況の考察

Diesel 式機關の箭内の摩擦狀況に就ては未だ確論がないが著者は乾燥状態、常温油中及 200°C 油中に於ける磨耗試験の結果から次の如き状態にあるものと思ふ。

1) 表面接觸狀況 H. Karplus¹³⁾ の研究によれば潤滑劑を以て潤滑する場合の摩擦面の摩擦には3種類の状態ありて第1は相互の摩擦面が完全に潤滑膜によりて分離せらるる完全潤滑状態と稱する場合、第2は摩擦面を相互に分離すべき潤滑膜が1箇所若くは數箇所にて破綻し居れるため金属對金属の直接接触が惹起せる不完全潤滑状態と稱する場合。第3は摩擦面を分離すべき潤滑膜が全然なく金属面が直接摩擦する乾燥摩擦と稱する場合である。



これは圖示すると第6圖の如く油の粘度及び荷重一定なる場合にはある一定の送り速度に達せざれば完全潤滑状態とならず

若し荷重増加せば之に伴つて完全潤滑状態に達する最小送り速度は大となすを要する。

完全潤滑状態に於ては潤滑油に對する耐蝕性並に吸着性が最大の因子となり金属面の表面は凹凸著しからざる限り

¹³⁾ Karplus: Maschinenbau. 5(1926) 1122

直接磨耗に關係せざることとなる。

乾燥摩擦状態に於ては、運動の際金屬面の凹凸が嚙合ひて、鋸引の作用をなすため前者に比すれば摩擦係數數倍に達し、運動速度に比例して磨耗量も亦増加する。此際分離せる微粒子脆硬なるときは磨耗作用を促進し柔軟なるときは減摩劑の用をなすこと想像するに難からず、結局本状態に於ける磨耗は單に硬度のみの函數ではない。

半潤滑状態は上記兩者の中間状態にして、運轉開始後運動速度小なる場合、荷重増大せる場合、油量不足せる場合等に發生し金屬間の嚙合による磨耗を生ずるため其の磨耗量は乾燥状態に近きを常とす。

2) 筈内の狀況 内火式機關の筈壁は水衣のために冷却さると雖も猶 200°C 内外に達し、衍帶環それ自體は約 1 kg/cm^2 の張力を有する上に吸鏢本體との間に燃焼瓦斯浸入するため一行程中略平均有效壓力に近き力を以て衍帶環を筈壁に壓着することとなり、自體の張力と合して約 8 kg/cm^2 の荷重にて壓着しつつ運動するものと思はれて居るので、最初金屬面乾燥磨耗試験を施行せし 8 kg/cm^2 の荷重にて運動速度を 7.5 m/min 以上となすときは著しく摩擦熱を生じ焼損せるを以て到底實用状態の數 m/sec の如き大速度には耐へず。故に筈内に於ける状態は直接金屬面接觸にあらざることが明白である。

然るに筈内用礦油にて完全に潤滑状態にある場合は 100 kg/cm^2 の如き大なる荷重にても充分潤滑油膜を形成するを以て磨耗量極めて小なり。故に 8 kg/cm^2 の如き小荷重にては磨耗量は無視し得る程度となる筈なるに係はらず實用状態にて相當の磨耗あるは完全潤滑状態の破壊せらるるによるものであつて之が原因としては

- イ、燃料油の不完全燃焼に基く微粒炭素の附着
- ロ、燃料油の燃へ殻の附着
- ハ、潤滑油の高温度に於ける Sludge の生成
- ニ、潤滑油の燃へ殻の附着

の四者の何れかによつて油膜に固體が介在するため油膜を破り又は擦面に傷をつけ不完全潤滑状態となれるものと思考する。

潤滑油の安定度に対しては特に筈内用礦油に就て 200°

C 及び 400°C に於ける Sludge の生成を試験せしに

200°C	15 h	400°C	4 h
-----------------------	---------------	-----------------------	--------------

にて相當生成し 400°C にて 10 h 加熱せしに全部固形化する。従來筈壁温度は 400°C に達するものと考へられし、この温度にては著しく Sludge を生成すると共に筈内の如き高壓にては引火點降下して 200°C 以下となり容易に筈壁の温度によりて燃焼し著しく磨耗を促進せしむる筈なるも鑄鐵の 200°C 油中試験の結果から推察せば筈内の温度は 200°C 以下であつて相當良好な潤滑状態にあるものと考へる。

IX. 綜 括

1) 高温磨耗試験装置を考案使用し 200°C の礦油中で現用の内燃機用筈並に吸鏢衍帶環用鑄鐵を組合せ 50 kg/cm^2 の荷重を加へたところ振動が甚だしく試験を續けることが出來ず 10 kg/cm^2 に降下しても猶常温の 50 倍以上の磨耗量に達した。

2) 筈に窒化鋼、衍帶環に $0.1\sim 0.9\%$ の 7 種の炭素鋼を選定し 200°C の礦油中で 50 kg/cm^2 の荷重を加へて磨耗試験を行つた處 $0.5\sim 0.6\%$ C の炭素鋼を使用せる磨耗量最小となり相方共鑄鐵を摺合せた場合の $10\sim 30\%$ に過ぎない。

0.3% C 以下の炭素鋼はこの用途には不適當である。

3) 窒化鋼に鑄鐵を摺合はす場合の鑄鐵の磨耗量は炭素鋼に比して約 10 倍大であるが鑄鐵のみの場合磨耗は多からず。

4) 高温度油中磨耗は常温の場合に比して油の悪化に基き潤滑状態不良となるため磨耗甚だしくなる。故に常温の場合を以て高温度に於ける實用状態の磨耗状況を推斷するは頗る危険であつて Diesel 機關用等の高速高温の磨耗部分に対しては高温磨耗試験が必要である。

5) 従來 Diesel 機關の筈内の摩擦状態は明瞭でなかつたが荷重を變じ乾燥常温並に 200°C 油中に於ける磨耗試験の結果から考察すると筈内温度は最高 200°C 内外であつて相當良好な潤滑状態にあることを明かにするを得た。

(終)