による差異小さく、SnSb の化合物を現はし、最も早く酸素を発生しさに思はれる 10.07 % を含むものが寧ろ幾分遅い感さへある。蒼鉛を含むものは純錫よりも遅く、且つ微弱である。前報鉛を含むもの⁽⁴⁾は上 4 者の何れよりも更に早い。之を不働態化の難易と合せ考ふるに、大體に於て酸素發生の早いもの程不働態化し易いといふ傾向を現はして居る。この事實は陽極界面に於ける酸化現象が如何なる程度に於てか不働態化を支配して居ることを想はしめるものである。

5. 結 論

1. 蒼鉛及び銅を含む錫陽極の硫酸性硫酸錫電解液中に於ける不働態化を實驗した。
2. 蒼鉛は 10 % 含まれても殆ど不働態化に影響が

ない。

3. 銅は極めて有害で 0.5 % 含まれても已に不働態化し易くなり、含有量が大きくなればなほ害を増す。
 4. 不働態化の進行は蒼鉛を含むものは緩慢で銅を含むものは急激である。
 5. 陽極附近の液には銅も蒼鉛も存在しないらしい。
 6. 不働態化後の酸素發生電壓は銅を含むものは低く、且つ酸素發生が顯著である。アンチモンを含むものはこれに亞ぎ蒼鉛を含むものは純錫より發生し難く且つ極めて微弱である。
 7. 陽極界面に於ける酸化現象が不働態化に或程度關係を持つらしい。
- 以上の研究は日本學術振興會及谷口工業獎勵會の援助を受けて行つたものである。同會に感謝の意を表す。

真空中、水素瓦斯中、窒素瓦斯中における鋼の磨耗に就て

齋 藤 省 三* 山 本 信 公*

Seizo Saito : Nobutaka Yamamoto : Abrasion of Steel in Vacuum, in Hydrogen Gas, and in Nitrogen Gas. Abrasion tests in vacuum and in gasses of hydrogen and nitrogen have been carried out in order to find the influence of oxidation, and to compare the results with the data obtained from the similar tests in the air.

Specimens of 0.7% Carbon Steel have been tested by an Amsler abrasion testing machine, and the following facts have been found. The wear in nitrogen and hydrogen gases is several times greater than that in the air. As the degree of vacuum becomes higher and the degree of oxidation lowers, the wear loss gradually increases, the maximum wear loss being reached at the vacuum of nearly 0.1 mm Hg. This maximum wear loss in 0.1 mm Hg vacuum is greater than the loss in the hydrogen or nitrogen gas and it is, of course, very much greater than that in the Air. When, however, a still higher degree of vacuum than 0.1 mm Hg., is attained an abrupt change takes place in the abrasion of test pieces, the wear suddenly decreasing much less than that in the air.

(Received August 21, 1939)

1 緒 言

金屬の磨耗に関する研究は古くから多くの研究者により行はれ、近來に至り漸く磨耗の性質が明らかにされて來たが他の金屬の研究部門に比較すると未だ遅れて居る。この研究の發達が遅れたのは磨耗の原因となる因子が多くそれらが複雑に組合さつて影響して來る事が分らなかつた事と磨耗の原因となる基礎的な一つ一つの因子に就てこれを分離してその影響する程度を研究する事が困難であつた爲であらうと思ふ。然し乍ら金屬磨耗の一般的な問題を解決する合理的な方法はやはり磨耗の原因となる因子を分離し磨耗に及す影響の程度を研究する事にあ

ると考へられる。

磨耗に關係ある條件が色々あるがそのうち主なるものをあげると、(1) 摩擦面に油の如き潤滑劑の有無。 (2) 滑り摩擦か轉り摩擦か。 (3) 摩擦面の接觸壓力。 (4) 摩擦面の相對速度。 (5) 摩擦面の溫度。 (6) 摩擦の相手となるものが 1 種か 2 種以上か。 (7) 摩擦雰圍氣、等であるが、第 6 の問題に就ては著者⁽¹⁾が數年前より研究を續けてゐる事であつて簡単に述べると A と B とが摩擦してゐる時に他の C なる物質が B と同時に摩擦すると A の磨耗に大なる影響がある事で、例へば A 鋼が B 鋼に摩擦してゐる時に C なる鑄鐵が B 鋼に摩擦すると鑄鐵の粉末の爲に A 鋼の磨耗量を著しく減じ鑄鐵の存在しない時

* 住友金屬工業株式會社製鋼所。

(1) 齋藤省三 : Metal Progress. 6 (1935), 52.

の数百分の一にも達する事を発見したのである。この様な事が実際には常に起つてゐるのであつて、この粉末は鑄鐵に限らず他の物質でも同様である事が明らかになつてゐる。又第7項の摩擦界圍氣に就ては第一に酸化の影響である。乾性摩擦に依つて生じた磨耗粉末は酸化鐵である場合が多くこの酸化鐵の粉末は磨耗を防止する第三の物質となつてゐる様であるが一面磨耗を促進する原因になるとも考へられるので酸化と磨耗とは如何なる關係があるかを調べる目的を以てこの研究を行なつたのである。

金屬が磨耗して生じた粉末が多くの場合酸化鐵である事は 1911 年頃から報告され、それ以來酸化と磨耗との機構に就て議論された。何故に酸化されるかと云ふ事については色々の説があり或人は材料が繰返し應力をうけるので酸化すると結論し或人は接線方向に働く力により鐵の分子は原子格子から剥ぎ取られ忽ちに酸化するものと考へた。獨乙に於ても磨耗した金屬片が極小さいもので酸化するものとの意見が多かつた。又摩擦すると面の温度が上る爲に急速度で酸化するものであると云ふ人もあつた。又水分による電氣的腐蝕説を採用する人もあつた。

斯の如く色々とその機構が考へられてゐたが 1929 年に至り Max. Fink 氏⁽²⁾は金屬が磨耗した後に酸化するのであるならば酸化性のない瓦斯中でも同様に磨耗は起る筈であるとの豫想のもとに酸素を充分にとつた窒素瓦斯中に於て炭素鋼 (0.65% C) の磨耗を研究した結果を發表した。その研究にはアムスラー磨耗試験機を用ひ、試験片は約 40mmφ×10mm と 44mmφ×10mm とに造り 1% の滑りの回轉摩擦をさせ、荷重は 50kg 約 4 時間の試験結果を發表した。試験片は 0.65% C の炭素鋼を焼鈍したるもので B. H. N. 216 の硬度のものである。試験した結果を Table 1 に示す

Table 1 Max.-Fink's Experiments in Air and Nitrogen Atmospheres by Amsler Abrasion Testing Machine. 50kg Load. Annealed 0.65% Carbon Steel

Slip	Atmosphere	Wear g/50,000 Rev	
		200 R. P. M. Test Piece	220 R. P. M. Test Piece
1 %	Air	0.1342	0.1505
1 %	Nitrogen	0.0000	0.0000
0 %	Nitrogen	0.0000	0.0000

空氣中では磨耗したのに窒素中では磨耗に依る重量の減少を認められなかつたので Fink 氏は酸化作用が無ければ磨耗は起らぬものであると結論した。Fink 氏の考

へに依れば二つの金屬面が互に接觸する際に表面の凹凸はおしつぶされ最上表の金屬層がプラスチックな變形をする。この爲に結晶粒が毀されその中に瓦斯を周着し化學的に反應しやすい所 (Lockerstellen) が出来る。これが空氣と接觸すると容易に酸化し酸化は比較的深く進む。この爲金屬片のコヒージョンを失ひ上層の剝脱が起るのであると説明してゐる。

最近に至り Samuel Rosenberg 氏⁽³⁾は水素瓦斯中及び窒素瓦斯中に於て同じくアムスラー試験機による鋼の磨耗の研究を發表した。Fink 氏の試験を特に繰返す爲に約 50mmφ×10mm 及び 55mmφ×10mm の試験片を用ひ 1% 滑りの回轉摩擦をさせ、荷重は 50kg とし

Table 2. Repetition of Fink's Experiments by Rosenberg in Air, Nitrogen and Hydrogen Atmospheres by Amsler Abrasion Testing Machine. 1% Slip, 50kg Load. Quenched and tempered 0.58% Carbon Steel.

Atmosphere	Wear g/10,000 Rev	
	200 R. P. M. Test Piece	220 R. P. M. Test Piece
Air	0.08	0.05
Nitrogen	0.09	0.07
Hydrogen	0.06	0.05

た。試験片の材質は 0.58% C の炭素鋼でこれを焼入焼戻し硬度を B. H. N. 230 とし Fink 氏の場合と條件を大體そろへて試験を行つた。その結果 Table 2 に示す如く空氣中でも窒素瓦斯中でも水素瓦斯中でも大差ない程度磨耗し Fink 氏の場合とは異つてしまつた。この他に 0.41% C, 0.81% C, 1.26% C の炭素鋼を焼入焼戻し熱處理し 60kg 荷重 10% 滑りを與へて試験を行つた。Table 3 にその結果を示す。

Table 3 Rosenberg's Experiments in Hydrogen and Air by Amsler Abrasion Testing Machine, 60kg Load, 10% Slip

Composition %	Heat Treatment		Hardness Rockwell	Wear g/10,000 Rev	
	Quenching	Tempering		in H ₂	in Air
C 0.43 Si 0.28 Mn 0.68	Water Quench 835°	200	58	0.002~0.016	
		230	53	0.10	0.04~0.06
		260	52	0.12	0.07~0.09
		320	58	0.23 ~0.31	0.08~0.09
			48	0.34 ~0.44	0.11~0.15
C 0.81 Si 0.28 Mn 0.23	Normalize 810° Water Quench 770°	150	64	0.003~0.02	
		260	58	0.001~0.02	0.03
		290	56	0.01 ~0.02	
		320	54	2.0 ~4.0	0.03~0.05
		360	47	0.2 ~0.4	0.05~0.10
		400	45	0.4 ~16.0	0.06
C 1.26 Si 0.28 Mn 0.39	Normalize 925° Water Quench 770°	260	59	0.007~0.014	
		400	48	0.01 ~0.1	
		500	39	0.8 ~4.2	0.03~0.1

(2) Max. Fink: Organ. Fort. Eisenbahnwesen. 84(1929), 406.

(3) Samuel Rosenberg: Bur. Standards J. Research. 708 (1934), 267.

この結果によると水素或は窒素瓦斯中では磨耗を著しく起す場合と殆んど磨耗せぬ場合とが起つた。前者は表面が瓦斯中に残留する僅かの酸素により酸化膜が出来ても材料が弱いので酸化膜が摩擦により破れる爲著しく磨耗を起すのであり後者は焼戻温度の低い時に現れるのであつて酸化膜が出来て金属と金属との直接の接觸を妨げる働きを生じ磨耗しなくなるのであらうと結論してゐる。

Fink 氏及び Rosenberg 氏は酸素瓦斯に依る酸化の事は考へてゐるが窒素瓦斯或は水素瓦斯が摩擦された面と如何なる反應をするか考慮してゐない。

Hermann Schottky 氏⁽⁴⁾は板ばねの摩擦部分が非常に硬くなつてゐて割れの原因となる事を報告してゐる。この様な所を化学分析した結果窒素が非常に多く含有されてゐることが判り又或場合には明らかに窒化鐵が出来てゐる事を知つた。外輪の磨耗部分に就て窒素分析した結果も同様に窒素含有量の多い事を報告し又軸に就ても摩擦部分に窒素が多く含有されてゐる事も報告してゐる。

H. J. Wiester⁽⁵⁾氏は加工度の差異が瓦斯吸収量と如何なる關係にあるかを調べ加工度大なる程窒素瓦斯吸収量の大なる事を報告してゐる。この研究報告で見ると空氣中に就ての磨耗は酸化ばかりでなく窒素瓦斯の影響を多く受ける事がわかる。鐵とアンモニア瓦斯の分解による活性の窒素瓦斯との反應は 200° で起り 300° で安定な形になる事が明らかにされて居るが、摩擦に依り局部的に高壓を受ける所が摩擦面に出来て又極く表面は温度も摩擦により高くなり得るのであるから鐵と窒素瓦斯とは結びついて表面層の剝脱や龜裂を起し得るわけである。

水素瓦斯が鋼に吸収されると鋼の性質を脆くする事は電解鐵が脆いことや酸洗を行ふ場合脆性を生ずる事で古くから知られて居り最近では C. Drescher & R. Schäfer⁽⁶⁾氏太田⁽⁷⁾氏を始めとし多くの研究者によつても鋼の水素脆性に就て報告されてゐる、故に水素瓦斯中で鋼を摩擦すれば摩擦面は水素瓦斯を吸着するので脆性を生じ磨耗の原因になる事も考へられる。

Fink 氏及び Rosenberg 氏は水素又は窒素瓦斯中での磨耗試験を行つてゐるが瓦斯の影響がない眞空中での試験を行なつてゐないので筆者は眞空中にての試験をすれば酸素以外の瓦斯の影響をも除くことが出来るかと考へ眞空中での磨耗試験を企てた。尙ほ Max. Fink 氏, Ros-

enberg 氏は一定の低い荷重にて試験を行つたが荷重が異なると磨耗の性質が著しく變る事實があるので廣い範圍の荷重にて試験を行ひ、尙水素瓦斯中、窒素瓦斯中の試験を併せ行ひ磨耗に及ぶ雰囲気の影響を調べた。

II 試験方法

この報告に述べる試験には Fink 氏 Rosenberg 氏が用ひたと全く同一の型のアムスラー磨耗試験機を用ひ、

Fig. 1 Test Piece Size.

試験片は Fig. 1 に示す様に外径 40mm、巾 10mm の 2 個の試験片を夫々 200 R. P. M. 及び 220 R. P. M. の回転速度で 10% の滑りのある轉り摩擦をさせた。尙一方の試験片は軸の方向に 1 分間 17 往復、巾 10mm の横振れ運動を與へた。

試験片は全面研磨仕上を行ひ摩擦面は紙ヤスリ noxas 0000 にて表面の回転方向と平行方向に磨き Fig. 2 (顯微鏡寫眞) に示す程度の荒さに一定した。

眞空中にて磨耗試験を行ふ方法として著者は Fig. 3, Fig. 4 に示す如きアムスラー磨耗試験機が全部入る大

Fig. 2 Roughness of Friction Surface, before Wear Test polished with Emery Paper noxas 0000

きさの鐵製丸型眞空タンクを造つた。眞空にするには試験片を取付けた後に徑 1000mm のエンドレスのパッキングゴムを溝にはめた。タンクの蓋を閉めてタ

ンクの端と蓋とを密着させ蝶番にて締めつける。尙氣密を完全にする爲パッキングゴムを嵌めた外側に又ゴム帶を巻きこのゴム帶とパッキングゴムとの隙間に油を入れて空氣の漏れを防いだ。試験機のモーターもタンク内に入れてあるのでその動力線はゴム栓に穴を開けて通じこの部分も油にて密封して眞空を保つ様にした。眞空ポンプはタンクが 420lt あるので排氣能力 700lt/min のものを選び眞空度は 1/1000mm Hg 迄到達するものを用

(4) Hermann Schottky: St. und Eisen, 56 (1936), 444.

(5) H. J. Wiester: Arch. Eisenhüttenwes., 9 (1935), 525.

(6) C. Drescher & R. Schäfer: Arch. Eisenhüttenwes., 10 (1937), 327.

(7) 太田健一: 鐵と鋼, 24 (1938), 1005.

ひた。

このポンプを使用しても室温が 10° を越える時は 0.05 mmHg 以上の高度の真空を得られず高度真空実験

Fig. 3 Testing Apparatus (Vacuum Tank)

Fig. 4. Abrasion Testing Machine in Vacuum Tank

をするのにはこの真空タンクを用ひず他の方法を考案した。Fink 氏及び Rosenberg 氏の研究では試験片の横振をさせなかつたので金屬製の函を用ひて外氣から密封してゐるが著者は試験片に横振運動を與へたので Fig. 5

Fig. 5 Amsier Abrasion Testing Machine equipped with the Testing Apparatus to carry out Tests in N_2 or H_2

試験片の横振往復運動のため内部の容積が常に變化するので袋の下部にゴム氷嚢を取付けて瓦斯リザーバーにした。試験をするときはゴム氷嚢が丸く脹れる位内部の壓力を僅か大氣壓より大にして行ひ外部から空氣の入るのを防いだ。

水素はピロガロール溶液及硫酸にて洗滌し内部の空氣が水素と充分に入れ換つてから試験を行つた。

をする爲にはこの真空タンクを氷にて包みタンク内部を冷して漸く 0.002 mmHg の真空を得ることが出來た。真空タンクの中に空氣の漏れ入るのは殆んどなく 0.01 mmHg 程度の真空度では一晝夜以上放置しても真空度は悪くならなかつた。

水素瓦斯、窒素瓦斯の氣流中で磨耗試

Fig. 6 Testing Apparatus to carry out the Abrasion Test in N_2 or H_2 Atmosphere.

III 試験片

この試験に使用した材料は 0.7% C 炭素鋼で Table 4 の成分を有してゐる。

Table 4 Chemical Analysis of Test Piece

C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cu %
0.72	0.24	0.63	0.027	0.017	0.10

鍛造して $50\text{ mm}\phi$ 棒に伸してこれを輪切にして試験片をとつたので鍛造比は 8 以上である。熱處理は 850°

X800

Fig. 7 Microstructure of the Test Piece

にて 1 時間保ち 500° 迄 9 時間に爐中冷却をした。組織はパーライトであつて顯微鏡組織は Fig. 7 に示す。硬度は B. H. N180~200 である。

IV 空氣中に於ける試験結果

真空中或は水素瓦斯中、窒素瓦斯中にて試験を行ふ前に先づ大氣壓の空氣中にて磨耗試験を行つた。摩擦面に加へる荷重は Fink 氏 Rosenberg 氏は $50\text{ kg} \sim 60\text{ kg}$ にて總ての試験を行つたが著者は $40\text{ kg} \sim 190\text{ kg}$ の間の數

種の荷重に就て行つた。

H. Hertz 氏の 2 つの圓筒の面の最大接觸應力の計算式に依れば、40kg, 70kg, 100kg, 130kg, 160kg の荷重は夫々 39kg/mm², 50kg/mm², 60kg/mm², 68kg/mm², 75kg/mm² の最大應力となる。この應力は試験片面に凹凸なしとしての計算であるから実際にはこれ以上の應力となる部分が局部的には生ずると考へられる。

試験時間は 5 時間と定め同一試験片にて 5 時間宛 2 回試験を行つた結果殆んど同一量磨耗した。空気中に於ては磨耗状態がすぐ定常状態になり磨耗量が一定になる。斯くして行つた 2 回の試験結果の平均値を Table 5 に示す。これを磨耗量と荷重に就て圖示すれば Fig. 8 の如くなつた。

Table 5 Wear Results in Air (760 mm Hg)

Test Number	Load Kg	Duration of Test	200 R. P. M. Testpiece		220 R. P. M. Testpiece	
			Total Wear g	Wear g/h	Total Wear g	Wear g/h
No. 1	40	5 h	0.1637	0.0327	0.1422	0.0284
No. 2	70	5 h	0.9756	0.1951	1.0107	0.1821
No. 3	100	5 h	0.5907	0.1182	1.4968	0.2994
No. 4	130	5 h	2.0890	0.4178	2.7354	0.5477
No. 5	160	5 h	1.5163	0.3033	3.2065	0.6413
No. 6	190	5 h	1.8778	0.3756	4.3711	0.8742

Fig. 8 Relation of Wear Loss and Applied Load in Air (760 mm Hg.)

荷重の増加するに従ひ殆んど直線的に磨耗量が増加してゐる。この空気中で試験を行つた試験片の磨耗面は Fig. 9 に示す如く黒褐色の酸化鐵の粉末皮膜で蔽はれてゐる。

Fig 9 Wear Test in Air (760 mm Hg) Upper Test Piece
200 R. P. M., Lower Test Piece 220 R. P. M.

V 真空中に於ける磨耗試験結果

真空中での試験はアムスラー試験機に試験片を取り付けて荷重を掛けてから真空タンク内に試験機を入れタンク内を真空にし目的の真空になつた時に真空ポンプを止めてその真空度で暫く放置して真空度の變化せぬ事を確認してから試験を始め一つの試験中は真空度を出来るだけ

一定になる様に常に真空度を測り調節した。

空気中で磨耗試験をすると直ちに磨耗し始めるのであるが高度の真空中では空気中の場合と全く異なり、初め全く磨耗せぬ時があつて或時間摩擦された後に急に磨耗し始めるといふ現象を起すのである。即ち最初の數十分間は全く磨耗する事なく摩擦面は Fig. 10 の如く黒色の光澤ある平滑な面になる。(斯の如き黒色の光澤ある平滑な面は大氣壓又は 34 mm Hg より悪い真空の空気中の

Left Surface finished with Grinder
Right Black Film Coated by Friction
Fig. 10

試験では起らなかつた。)この全く磨耗しない状態は後に著しく磨耗を越す場合でも初期の現象として起るものであるがこの状態の続く時間は壓力、真空度等により變化し一定して居ない。この磨耗しない黒い艶のある面が破れ初めてから全面が金屬色の粗面となり磨耗の著しい面に移り變つてしまふのに要する時間は極く僅かであつて數分である。この状態は真空タンクの外部からでもタンクにつけたガラス窓からのぞけば明らかに認める事が出来試験機の運轉状況も此處を境として小さな振動が著しくなり始めるので磨耗が著しくなり始めた事を明らかに認知する事が出来た。0.10mm Hg 位の真空中ではこの滑らかな状態が続くのが精々 2 時間位迄であるが高度真空中ではこの磨耗しない初期の状態が破れる事なく 20 時間以上連続試験しても摩擦面は光澤を持つた滑らかな状態の儘で少しも變化がない。即ち試験始めは真空中では磨耗しないのであるが、その磨耗しない状態が高度の真空度では安定であつて或真空度以下になると破れてしまふのである。この安定であるか否かは大體試験始めの 1~2 時間の摩擦で決定されてしまふ様である。非常に長い時間後はどうなるかと云ふ事は材質の疲勞の

問題も入つて来るから別に考へるとしてこの試験では試験時間を 5 時間と一定した。

5 時間磨耗試験しても平滑な面が破れぬ時は磨耗せずとして 5 時間以上繼續する事なく試験を終へた。

Table 6 及至 9 はその様にして試験した結果を示す。何れの試験も新しい試験片を用ひ同一の試験片は 2 度用ひぬ様にした。表中 T₁ は試験全時間であつて T₁ が 5 時間以内のものは磨耗著しき爲 5 時間試験繼續不能の場合である。T₂ は摩擦面の黒色の平滑な状態が破れて梨地になり著しく磨耗を始めてから試験終り迄の時間である。摩擦面の黒色平滑状態が破れる迄の時間は壓力及真空度等の條件の少しの差で不

Table 6 Wear Results in Vacuum of various Degrees under 40 kg Load

Test Number	Vacuum mm Hg.	Load Kg	Duration of Test T_1	Time of Wear T_2^*	200 R. P. M. Test Piece		220 R. P. M. Test Piece	
					Total Wear W_1	Wear/g/h W_2^{**}	Total Wear W_1	Wear/g/h W_2^{**}
No. 7	0.05	40	5 h	0	-0.0007	—	-0.0005	—
No. 8	0.10	40	5 h	4 h 28 m	5.1617	1.2000	2.5157	0.5853
No. 9	0.35	40	5 h	3 h 40 m	0.6800	0.2000	0.3855	0.1133
No. 10	0.85	40	5 h	3 h 40 m	0.4062	0.1194	0.5686	0.1670

* Time elapsed from the Beginning of noticeable Wear to the End of Test

$$^{**} W_2 (\text{Wear/g/h}) = \frac{W_1 (\text{Total Wear})}{T_2 (\text{Time of Wear})}$$

Table 7 Wear Results in Vacuum of Various Degrees under 70 Kg Load

Test Number	Vacuum mm Hg	Load Kg	Duration of Test T_1	Time of Wear T_2^*	200 R. P. M. Test Piece		220 R. P. M. Test Piece	
					Total wear W_1	Wear/g/h W_2^{**}	Total wear W_1	Wear/g/h W_2^{**}
No. 11	0.0025~0.0015	70	5 h	0	0.0000	—	0.0000	—
No. 12	0.03 ~0.05	70	5 h	0	0.0010	—	0.0004	—
No. 13	0.075	70	5 h	0	0.0004	—	0.0016	—
No. 14	0.080 ~0.087	70	5 h	2 h 35 m	9.4790	3.7916	3.7229	1.4891
No. 15	0.085 ~0.090	70	5 h	3 h	11.8367	3.9456	4.0788	1.3596
No. 16	0.10	70	5 h	4 h 10 m	19.9755	4.8000	9.3419	2.0040
No. 17	0.35	70	5 h	4 h 14 m	15.3120	3.8160	5.9883	1.4160
No. 18	0.57 ~0.46	70	5 h	3 h 23 m	3.3257	0.9840	1.2852	0.3780
No. 19	10.00	70	5 h	3 h 51 m	2.0539	0.5340	0.9846	0.2580

* Time elapsed from the Beginning of noticeable Wear to the End of Test

$$^{**} W_2 (\text{Wear/g/h}) = \frac{W_1 (\text{Total Wear})}{T_2 (\text{Time of Wear})}$$

Table 8 Wear Results in Vacuum of Various Degrees under 100Kg Load

Test Number	Vacuum mmHg	Load Kg	Duration of Test T_1	Time of Wear T_2^*	200 R. P. M. Test Piece		220 R. P. M. Test Piece	
					Total wear W_1	Wear/g/h W_2^{**}	Total wear W_1	Wear/g/h W_2^{**}
No. 20	0.0025~0.015	100	5 h	0	0.0000	—	0.0000	—
No. 21	0.05	100	4 h 33 m	4 h	2.5079	0.6270	0.2095	0.0524
No. 22	0.10	100	4 h 05 m	3 h 42 m	19.2909	5.2140	8.8876	2.4000
No. 23	0.35	100	5 h	5 h	11.7449	2.3489	2.1569	0.4314
No. 24	0.70	100	5 h	2 h 35 m	2.8816	1.1160	1.1800	0.4560
No. 25	34	100	5 h	4 h 58 m	0.8930	0.1786	1.5570	0.3114

* Time elapsed from the Beginning of noticeable Wear to the End of Test

$$^{**} W_2 (\text{Wear/g/h}) = \frac{W_1 (\text{Total Wear})}{T_2 (\text{Time of Wear})}$$

Table 9. Wear Results in Vacuum of Various Degrees under 130 Kg Load.

Test Number	Vacuum mmHg	Load Kg	Duration of Test T_1	Time of Wear T_2^*	200 R. P. M. Test Piece		220 R. P. M. Test Piece	
					Total wear W_1	Wear/g/h W_2^{**}	Total wear W_1	Wear/g/h W_2^{**}
No. 26	0.0025~0.0015	130	5 h	0	0.0000	—	0.0000	—
No. 27	0.03 ~0.05	130	5 h	2 h 38 m	1.3036	0.4920	0.0753	0.0300
No. 28	0.10 ~0.13	130	5 h	2 h 22 m	20.8252	8.7870	7.1838	3.0311
No. 29	0.35	130	5 h	4 h 01 m	13.3406	3.3240	4.9616	1.2360
No. 30	0.80 ~0.82	130	5 h	4 h 10 m	10.0644	2.3580	3.7628	0.9030

* Time elapsed from the Beginning of noticeable Wear to the End of Test

$$^{**} W_2 (\text{Wear/g/h}) = \frac{W_1 (\text{Total Wear})}{T_2 (\text{Time of Wear})}$$

同となり甚だ不安定な現象であるから T_2 は表に示した程度の数字となり壓力と一定の關係を持つ程正確には求められなかつた。磨耗量 W_1 は試験を終つた後の重量減であつて試験時間 5 時間の全磨耗量である。前に述べた様に試験の始めには殆んど磨耗せぬ時があり或時間後から磨耗し始めるのであるから磨耗し始めてから試験を終へる迄の時間を磨耗時間 T_2 としこの時間 T_2 で全磨耗 W_1 を割つた單位時間の磨耗量を W_2 とした。 W_2 は定常状態になつてからのものであるから各真空度に於ける磨耗量としてこの値をとつた。0.05 mm Hg より高度真空の場合の如く試験終り迄磨耗しない状態の時は磨耗時間 T_2 と云ふものは無い事になる。而して 5 時間試験後に重量は極く僅か増加したり減少したりしてゐるがこのような場合は事實上磨耗しなかつたと看做した。

各荷重に就て行つた試験結果を磨耗量と真空度との關係に就て圖示すれば Fig. 11 に示す如くなつた。Fig. 11 の荷重 100 kg の場合に就て見るに大氣壓より真空にするに従つて磨耗量を増加する、この場合に磨耗面の状態は大氣壓の空氣中では黒褐色の酸化物で蔽はれ磨耗量は比較的少ない。真空度を高めるに従つて表面を蔽うて居た酸化物が減じ磨耗量を増し金屬色を持つ粗面となる。真空度が 0.3 mm Hg より高くなると黒い酸化物は全く認められず全磨耗面は極めて粗となり金屬色を示し 0.1 mm Hg 位の處で磨耗は最大となる。其れより高度の真空になると急に磨耗量を減じ 0.01 mm Hg より高度の真空中では殆んど磨耗せず表面極め

Fig. 11 Relation of Wear Loss and Vacuum Degree.

0.85 mm Hg. 0.35 mm Hg. 0.1 mm Hg. 0.03 mm Hg.
Fig. 12 Wear Test in Vacuum, Load 40 Kg. Upper Test Piece 200 R. P. M. Lower Test Piece 220 R. P. M. 0.5 mm Hg. 0.35 mm Hg. 0.1 mm Hg. 0.05 mm Hg. 0.002 mm Hg.
Fig. 13 Wear Test in Vacuum, Load 70 Kg. Upper Test Piece 200 R. P. M. Lower Test Piece 220 R. P. M. 0.70 mm Hg. 0.35 mm Hg. 0.1 mm Hg. 0.05 mm Hg. 0.002 mm Hg.
Fig. 14 Wear Test in Vacuum, Load 100 Kg. Upper Test Piece 200 R. P. M. Lower Test Piece 220 R. P. M. 0.8 mm Hg. 0.35 mm Hg. 0.1 mm Hg. 0.03 mm Hg. 0.002 mm Hg.
Fig. 15 Wear Test in Vacuum, Load 130 Kg. Upper Test Piece 200 R. P. M. Lower Test Piece 220 R. P. M.

て平滑となり薄い黒色皮膜で蔽はれ恰も黒色塗料を施せる如き外觀を呈するに至る。即ち磨耗しない初期現象が安定な爲この状態を續けるのであらう。この黒色皮膜は極く眞空度の良い 0.002 mm Hg の時は非常に薄く殆んど鏡の如き金屬光澤になつてゐる。以上の様な結果は荷重が 40 kg, 70 kg, 130 kg の時でも同じ傾向をもつてゐて Fig. 11 に示す如く約 0.1 mm Hg の眞空の所で磨耗量が最大となり高度眞空にて磨耗せぬ事も全く同様であつた。この様に眞空度に依る磨耗面の變化する状態の寫眞を Fig. 12, 13, 14, 15 に示す。磨耗量が極大點に達してからそれ以上の高度眞空にて磨耗量が少くなるがその傾向は荷重の少い程早く起り 130 kg 荷重では 0.03 mm Hg でも少し磨耗するが 70 kg では 0.07 mm Hg で既に磨耗せぬ状態になつてゐる。この現象を明らかに示すために 0.1 mm Hg, 0.05 mm Hg, 0.002 mm Hg の 3 種の眞空の時の磨耗量と荷重との關係を圖示すると Fig 16 の如く 0.05 mm Hg の眞空で荷重が 100 kg 以上の時は磨耗するが 70 kg 以下の荷重に於ては殆んど磨耗を認められない。0.002 mm Hg の眞空では荷重の大小に關係なく何れも磨耗してゐない。然るに 0.1 mm Hg の時は磨耗著しく大氣中の磨耗試験結果の約 20 倍に達する。又 200 P. R. M. 側の試験片と 220 R. P. M. 側の試験片との磨耗量の差に就て見れば大氣中と眞空中とでは反對になつて居る。(Fig. 8, Fig. 11 参照 但し荷重

Fig. 16 Relation of Wear Loss and Load in Vacuum

40 kg を除く) この現象に就ては著者が既に報告⁽⁸⁾をしてゐるが其の後の研究結果判明した事實に就ては充分に検討を要するものとして研究を續けて居る。磨耗せぬ状態になつた時に摩擦面につく黒色の光澤ある皮膜が何んであるかは興味ある問題であつてこれは酸化鐵と考へられる。0.002 mm Hg 程度の眞空内でも尙残りの酸素及び外部より漏れ入る酸素の爲に微量乍ら酸化物が出来るものゝ如く考へられる。これは酸化鐵であつて油に類するものでない事は清浄な脱脂綿にて皮膜を拭ひ黒色微粉末をとりこの脱脂綿に附着してゐる黒色微粉末を稀鹽酸の中に入れると直ちに溶解してしまふことで明らかである。従つて高度眞空中で磨耗しないのは油の氣化したものが表面に附着して潤滑剤の作用をしたとは考へられない。

VI 水素瓦斯 窒素瓦斯中に於ける磨耗試験結果

眞空中での實驗では磨耗する状態をタンクの外部から觀察することが出来たが著者の考へた水素瓦斯, 窒素瓦斯中での實驗装置は Fig. 5, Fig. 6 に示す如くゴム板で試験片を包んでゐる爲磨耗状況を觀察することが出来なかつたので試験途上での磨耗程度を知ることが出来ず著しく磨耗する時にはその磨耗試験時間の決定が困難であつたが試験片が著しく磨耗して直径が小さくなるものは外部から大體判るので試験出来る範囲で試験時間なるべく長くし一般には5時間を限度とした。磨耗した粉末がゴム袋の中で飛び散つて再び摩擦面にかみこまぬ様にする爲めに試験片の下部に強い磁石をを置き磨耗した粉末を吸ひ集める様にした。

斯して行つた水素瓦斯中に於ける試験結果を Table 10 に示す。試験荷重は 40 kg 乃至 160 kg の間に行つた。磨耗量と荷重との關係を Fig. 17 に示す

Table 10 Wear Results in Hydrogen (760 mmHg)

Test Number	Load Kg	Duration of Test	200 R. P. M. Test Piece		220 R. P. M. Test Piece	
			Total Wear g	Wear/g/h	Total wear g	Wear/g/h
No. 31	40	5 h	0.5351	0.1070	0.5780	0.1156
No. 32	70	5 h	9.1398	1.8279	2.3414	0.4683
No. 33	100	4 h 17 m	13.6074	3.0238	3.9287	0.8730
No. 34	130	4 h 30 m	19.4671	4.3260	1.7393	0.3865
No. 35	160	4 h 25 m	34.8565	7.7459	5.2254	1.1612

回転速度の遅い 200 R. P. M. の試験片は速い 220 R. P. M. の試験片より磨耗量多く荷重の大なときは5倍以上に達してゐる。この傾向は眞空中の磨耗試験の時と

(8) 齋藤省三：東北帝大理科報告 4 (1938), 561.

共通してゐる。Rosenberg 氏の試験結果では著者の試験片と大體同じ強度の材質試験片であるが空氣中と水素瓦斯中と殆んど同位磨耗してゐる。然るにこの試験結果

Fig. 17 Relation of Wear Loss and Applied Load in Hydrogen Atmosphere (760 mm Hg.)

では一般に水素瓦斯中で著しく磨耗し空氣中の結果とはかけはなれた値を示した。磨耗した面は寫眞 Fig. 18 に示す如く眞空中で著しく磨耗した場合と同様で金屬色をもつてゐる粗い。

次に水素瓦斯は還元性が大であるから化學的

に不活性の窒素瓦斯を用ひて水素瓦斯中と同様の試験を行つた。Table 11 にその結果を示す。水素瓦斯中の試験結果と同様に荷重の少い場合は磨耗量が少いが荷重を

Fig. 18 Wear Test in H_2 Gas. Upper Test Piece 200 R. P. M. Lower Test piece 220 R. P. M.

Table 11 Wear Results in Nitrogen (760 mm Hg)

Test Number	Load Kg	Duration of Test	200 R. P. M. Test Piece		220 R. P. M. Test Piece	
			Total wear g	Wear/g/h	Total wear g	Wear/g/h
No. 36	40	5 h	2.9147	0.5829	1.4827	0.2965
No. 37	70	3 h 45 m	6.0017	1.6020	1.7158	0.4560
No. 38	100	4 h	23.1300	5.7825	2.2297	0.5574
No. 39	130	3 h 30 m	22.6760	6.4260	2.8421	0.8100

増せば 200 R. P. M. の試験片の磨耗量は著しく増加してゐる。この場合の磨耗量と荷重との關係を Fig. 19 に圖示す。磨耗面の外觀は Fig. 20 に示す如く水素の場合と殆んど同じであつて金屬色を持つてゐる荷重の大なる場合では磨耗面が著しく粗れてゐて、むしり取つた様になつてゐる。Fink 氏の試験結果では、窒素瓦斯中では全く磨耗を起して居らず Rosenberg 氏の試験結果では空氣中の磨耗量と窒素瓦斯中と殆んど同じになつてゐる。この兩氏の試験結果の差異の原因は試験片の大きさ及び熱處理 (即ち組織) に差異があり且試験荷重の低い處

で而も一定の荷重で行つてゐる爲に生じたのであらうと思はれる。著者の試験結果は窒素瓦斯中では水素瓦斯中の場合と同様荷重の高い處では著しく磨耗した。又低い

Fig. 19 Relation Between Wear Loss and Applied Load in Nitrogen Atmosphere (760 mm Hg.)

るがこれは著者の結果と大體一致する。窒素瓦斯中、水素瓦斯中、空氣中、眞空中 (0.35 mm Hg) での磨耗量が夫々異なるので磨耗した面に如何なる差異があるかを調べ

40 Kg Load 70 Kg Load 100 Kg Load 130 Kg Load
Fig. 20 Wear Test in N_2 Gas. Upper Test Piece 200 R.P.M. Lower Test Piece 220 R.P.M.

る目的で荷重 70 kg の時の磨耗試験片の摩擦面を直角に切り横から顯微鏡にて見た。其の結果を Fig. 21 に示す。これに依るとプラスチックな變形はしてゐるが空氣中で試験したものは内部迄酸化されてゐる様子なく、眞

空中の時は 0.35 mm Hg であるから著しく磨耗してゐるがこの場合も内部迄酸化されてゐる様な形跡なく、窒素中の場合も窒化物らしきもの全く認められない。プラスチックな變形即ち冷間加工の深さもエッチングに対する感度から測定した結果 Fig. 21 に示す如く 0.03~0.07 mm 位であつて大差ない。面の凹凸は顯微鏡にて見る位置に依り著しく異なるので窒素中の試験片のみ特に凹凸が激しいのではない。斯の如く窒化物や酸化物が内部には生じて居ないけれども極めて表面の處では温度も高くなり得るから窒化物が出来たり、又水素による脆性が起る事を考へられる。

VII 總 括

酸化と磨耗との關係を明らかにする目的をもつて眞空中、水素瓦斯中、窒素瓦斯中にてアムスラー試験機に依り 0.7 % C の炭素鋼に就て磨耗試験を行つた。

空氣中では磨耗面に酸化粉末が黒褐色に斑につき表面の光澤もなく、ざらざらして汚ないが眞空にするに従ひ酸化鐵の量が減じ金屬的な光澤をもつて來るが磨耗量は著しく増し 0.1 mm Hg 附近で極大點に達し全く酸化物を認められず凹凸の著しい金屬色の面になる。それ以上の高度の眞空になると摩擦面が段々に平滑になり 0.1 mm Hg 以上の眞空では黑色を帯びた鏡の如き滑らかな面となり磨耗も全くしないといふ結果になつた。

著者は酸化の現象が磨耗に對して二つの異なる働きをするものと考え。一つは酸化する爲に脆くなり磨耗量を増し、他の一つは磨耗に依り脱落した酸化物の微粉末が表面の凹部を埋める爲に一種の象嵌現象を起して磨耗量を減少する作用である。

大氣壓の空氣中より次第に壓力を減じて行くと酸化物が象嵌現象を起すに不充分の量となるか又は酸化物の性

(A) Tested in Vacuum 0.35 mm Hg. Wear Loss 3.8160 g/h. Cold Worked Layer 0.03 mm
(B) Tested in Air 760 mm Hg. Wear Loss 0.2125 g/h. Cold Worked Layer 0.04 mm
(C) Tested in H_2 760 mm Hg. Wear Loss 1.8279 g/h. Cold Worked Layer 0.04 mm
(D) Tested in N_2 760 mm Hg. Wear Loss 1.6020 g/h. Cold Worked Layer 0.07 mm

Fig. 21 Microstructure of the under Layer of the Surface. Magnification 800

質上(酸化度を異にして)微粉末にならずして象嵌に不適当な形をとるかに依り次第に磨耗量を増加する。この傾向が 0.1mm Hg 程度の真空まで續きこの點で最大磨耗量を示す 0.1mm Hg より高度の真空度では摩擦面の酸化が益々減じ凹所を象嵌する作用も減少するが脆さの爲に磨耗脱落する事も少くなる。この後者の現象が前者の作用に勝つて高度真空では磨耗量を著しく減少するものと考へる。而して 0.08~0.1mm Hg 程度の真空度に於てはこの二つの作用の何れが勝つかは極めて不安定である事は前の實驗の所で述べた通りである。従つて 0.1mm Hg の真空で磨耗量最大なりと云ふ事は試験片材質と試験機に依り定まるものでこれ等の條件が異れば

幾分移動すると想像される。完全なる真空での磨耗に對しては今回の試験からは未だはつきりした結論を與へ得ない。尙空氣中では如何に研磨してもその表面には酸素を吸着された薄層があることをも考慮に入れなければならぬ問題たと思ふ。この點に就ては尙研究を進めてゐる。

水素中、窒素中にては著しく磨耗したのは酸化作用ではなく、水素は鋼を脆くし、窒素も窒化物を作り得るからその爲とも考へられる。然し水素に依り脆くなり脱落した粉末又は窒化物となり脱落した粉末は酸化鐵の如く凹所を埋る象嵌作用のない事が想像される。

正 誤

本誌第3巻第11號(昭和14年11月號)所載研究「純Alの電溶壓に就て」(第2報)五十嵐勇, 小玉清一著, 430頁Fig.4を次の通り訂正する。