

鋼の乾燥摩耗におよぼす湿度の影響

桑 野 正 司*

Effects of Humidity on the Dry Wear of Steels

Masashi KUWANO

Abstract

A study has been made of the effects of humidity on the dry wear of steels, by using an Ogoshi's wear testing machine. The wear test was carried out in the atmosphere of a constant temperature 30°C, relative humidity (40%, 60% and 80%) and on the conditions from lower sliding speed 0.081 m/s to higher sliding speed 3.50m/s. A hardened carbon steel S 45 C was used for a rolling specimen.

The results obtained are as follows :

- (1) Both the fixed specimens (S 45 C and SS41) decrease remarkably the specific wear at a high percentage humidity and the range of low sliding speed. The reason why specific wear decreases can be explained in terms of formation of oxides on wear traces.
- (2) At the range of middle sliding speed, the specific wear increases to a maximum for mechanical destructive wear.
- (3) At the range of higher sliding speed, the specific wear decreases again for formation of oxides and melting wear, and it is not much influenced by relative humidity.

1. ま え が き

一般に乾燥摩擦において、摩擦速度や荷重の影響についての報告は多いが、ほとんど大気中室温で行なわれており、試験中に試験機周辺の雰囲気はたえず、変化していることは以外と見過されている。事実、里吉ら¹⁾も述べているように高温多湿の夏期と低温低湿の冬期では、当然摩擦雰囲気は異なるし、これらの雰囲気が、摩擦摩擦に影響をおよぼすことは十分考えられる。湿度すなわち大気中の水蒸気が乾燥摩擦におよぼす影響については、従来いくつかの報告がある。Bowden ら²⁾は清浄な乾燥空気中と湿気のある大気中では、湿度の高い方が著しく凝着を起すと報告している。また、里吉ら¹⁾はピンリング式の摩擦試験機を用い、低速および高速域で鉄および非鉄金属に対する湿度の影響を調べ、低速域での摩擦量は湿度の増加と共に減ずると報告している。また、別の報告³⁾では空気中摩擦での酸化物の影響につい

て述べている。

大越式摩擦試験は一般に大気中で温度および湿度を無視して行なわれている。この試験機は回転試験片を固定試験片に押しつけて、削り取った痕跡から摩擦量を迅速に求めることができるようになってきているが、この試験機においても、雰囲気中の水蒸気が摩擦におよぼす影響は、十分考えられる。著者はこの試験機を用い、炭素鋼の乾燥摩擦において大気中の水蒸気が摩擦および酸化物の形成にどのような影響をおよぼすか調べた。

2. 試料および実験方法

回転試験片と固定試験片の形状寸法を Fig. 1 に示す。固定試験片には摩擦に対する炭素含有量の影響を考え、中炭素鋼の S45C と低炭素鋼の SS41 の 2 種を選び熱間圧延材をそのまま用いた。試験片の化学成分とビッカース硬さを Table. 1 に示す。回転試験片には S45C を用いたが、摩擦試験の時接触部で温度上昇が考えられ

*宇部工業高等専門学校機械工学科

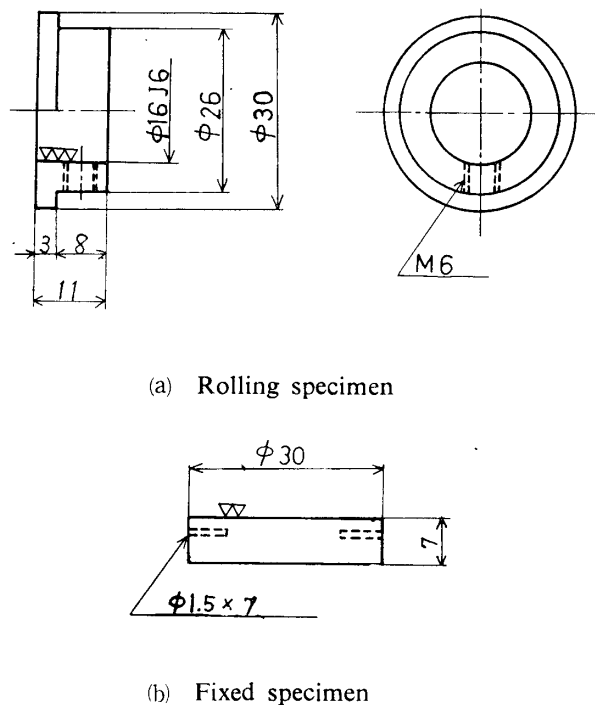


Fig. 1 Shape and dimension of specimen

Table 1 Chemical composition of Specimen. (%)

	C	Si	Mn	P	S	Hv.
S45C	0.49	0.28	0.57	0.007	0.018	228
SS41	0.15	0.28	0.41	0.007	0.008	204

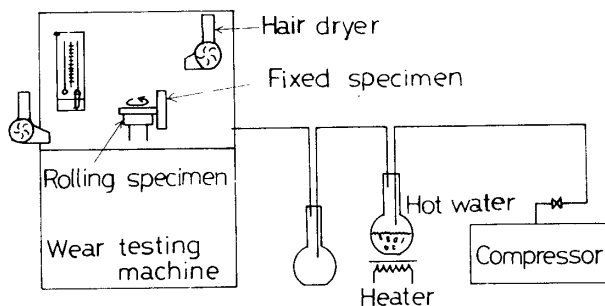


Fig. 2 A Schematic diagram of apparatus for wear at various humidity

るので、材質変化を考慮に入れて、焼入れ焼戻材を用いた。図の様に形状が複雑なため焼入時の変形を防止する必要があり、回転接触面を数mm残し、粘土を穴部につめ870°Cに10分間加熱保持後水焼入れした。更に200°Cに10分間の油焼戻しを行ない、ピッカース硬さ Hvを

約700付近に保った。

実験装置の概略図を Fig. 2 に示す。迅速摩耗試験機⁴⁾はプラスチック板で作った内容積約84ℓの槽でおおわれている。槽内の恒温保持と空気の攪拌のためにヘヤードライヤーを図のように2個配置した。槽内温度は、常に±2°Cの範囲内にあるように調節した。また、槽内には予め較正したアルコール乾湿度計を試験片付近に設置し、相対湿度を測定できる。露点気温度は夏期には、高温多湿となることから、恒温保持が年中いつでも、可能なように室温よりやや高めめの30°Cに設定した。調湿には水蒸気をコンプレッサーで槽内に送り込み行なった。固定試験片は、最終研磨を#800のエメリー紙で仕上げた。また、回転試験片は試験することにより試験機付属の砥石で研削仕上げした。研削表面あらさを一定にするため砥石は、試験することによりダイヤモンドドレッサーにて、ドレッシングした。試験片は予めベンジンで清拭し試験機に装着した。実験は相対湿度40%、60%、80%の3種の場合で行ない、最終荷重2.1kg、摩擦距離200m、摩擦速度0.081~3.50m/sとし、各々の条件で3回以上試験を行ないその平均値をとり、比摩耗量 W_s とした。摩耗試験、固定試験片の摩耗痕を顕微鏡観察した。

なお、表面温度は固定試験片の測面に摩擦面より、約1.5mmのところ直径1.5mm、深さ7mmの穴をあけ、直径1mmのシース型CA熱電対を挿入して温度測定し、予め求めておいた対数グラフの温度勾配に比例して、近似的に求めた。

3. 実験結果および考察

1. 相対湿度、摩擦速度と比摩耗量 摩耗試験はおもに空気の乾燥している冬期に行なったので試験槽内の温度を室温よりやや高温の30°Cに設定した場合、相対湿度40%~80%の調湿は容易に得られた。最終荷重と摩擦距離を一定とし、摩擦速度を0.081~3.50m/sに変えた場合の相対湿度(以後湿度と略す)と比摩耗量 W_s の関係を Fig. 3, Fig. 4 に示す。

固定試験片がS45Cの場合、湿度40%、60%、80%の各々の場合で比摩耗量 W_s に極大の現われる摩擦速度は異なっているが、比摩耗量 W_s は湿度40%、60%、80%の順に減少しているのが認められる。また、0.5m/s以下の低速域においては、比摩耗量 W_s に著しい差が認められ、特に湿度80%の場合極めて小さい。極大を過ぎた高速域では、しだいに比摩耗量 W_s は減じるが、低湿度の場合と高湿度の場合で著しい差は認められない。

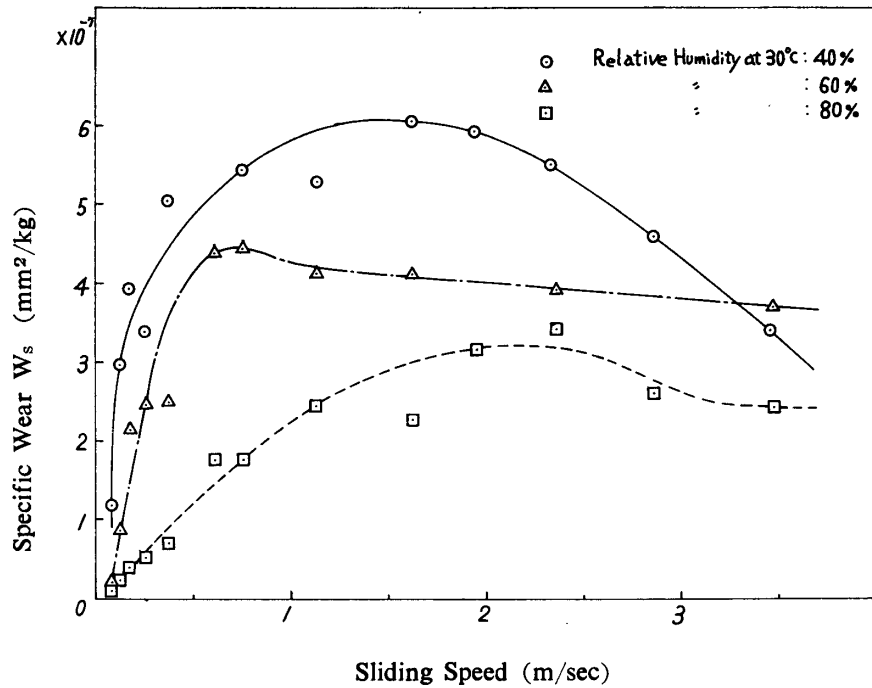


Fig. 3 Effect of relative humidity on specific wear (S45C-H-S45C)

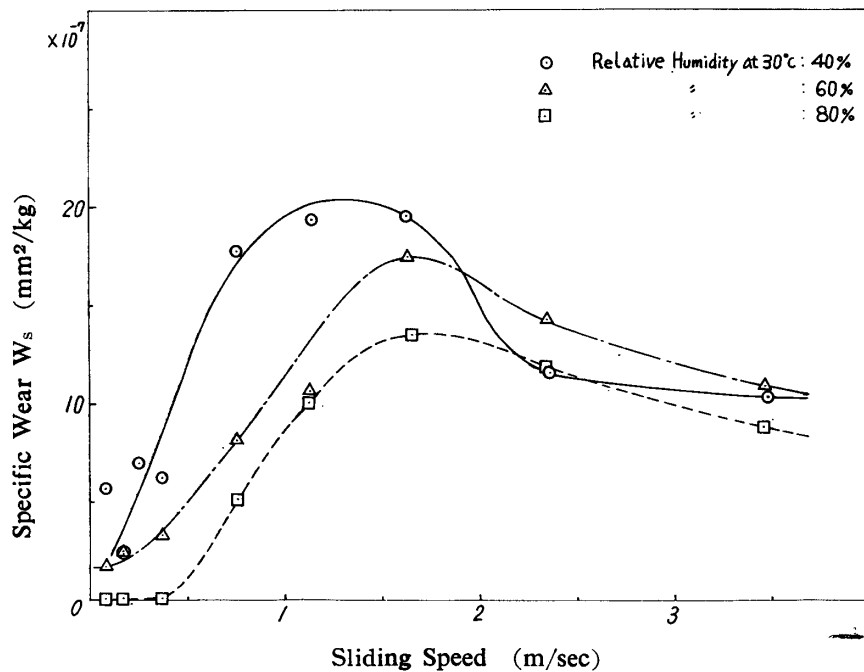


Fig. 4 Effect of relative humidity on specific wear (S45C-H-SS41)

固定試験片が SS 41 の場合, Fig. 5 に示すように摩擦速度が 1 ~ 1.6 m/s のところに極大が現われ, S45C の場合と同様に湿度の比摩耗量への影響がはっきり認められ, 特に摩擦速度 0.5 m/s 以下の低速域では湿度 80% の場合比摩耗量 W_s が極めて小さくなるのがわかる。また, 高速域においては, 湿度 40%, 60% で一部逆転する

けれども低湿, 高湿いずれの場合でも低速の場合に比べて比摩耗量は極めて大きく湿度による差はあまり認められない。

また, SS41 材を用いた場合 S45C 材の比摩耗量 W_s の約 3 倍になることがわかった。この理由については, 大越ら⁵⁾ によると酸化摩耗と溶融摩耗の場合 0.9% C 付

次に摩耗の極小点があり、高炭素鋼より、低炭素鋼の方が摩耗量が多くなると述べていることから炭素含有量による影響であると推察される。

これらの結果より、S45C, SS41 材ともに低速域高湿

の場合に比摩耗量 W_s が極めて小さくなる原因としては、摩擦により発生した酸化物が水蒸気により、凝集され、そのまま摩擦部分に付着し摩耗を減ずるためと推察される。摩擦速度0.081m/s で湿度40%, 60%, 80%の摩耗表面

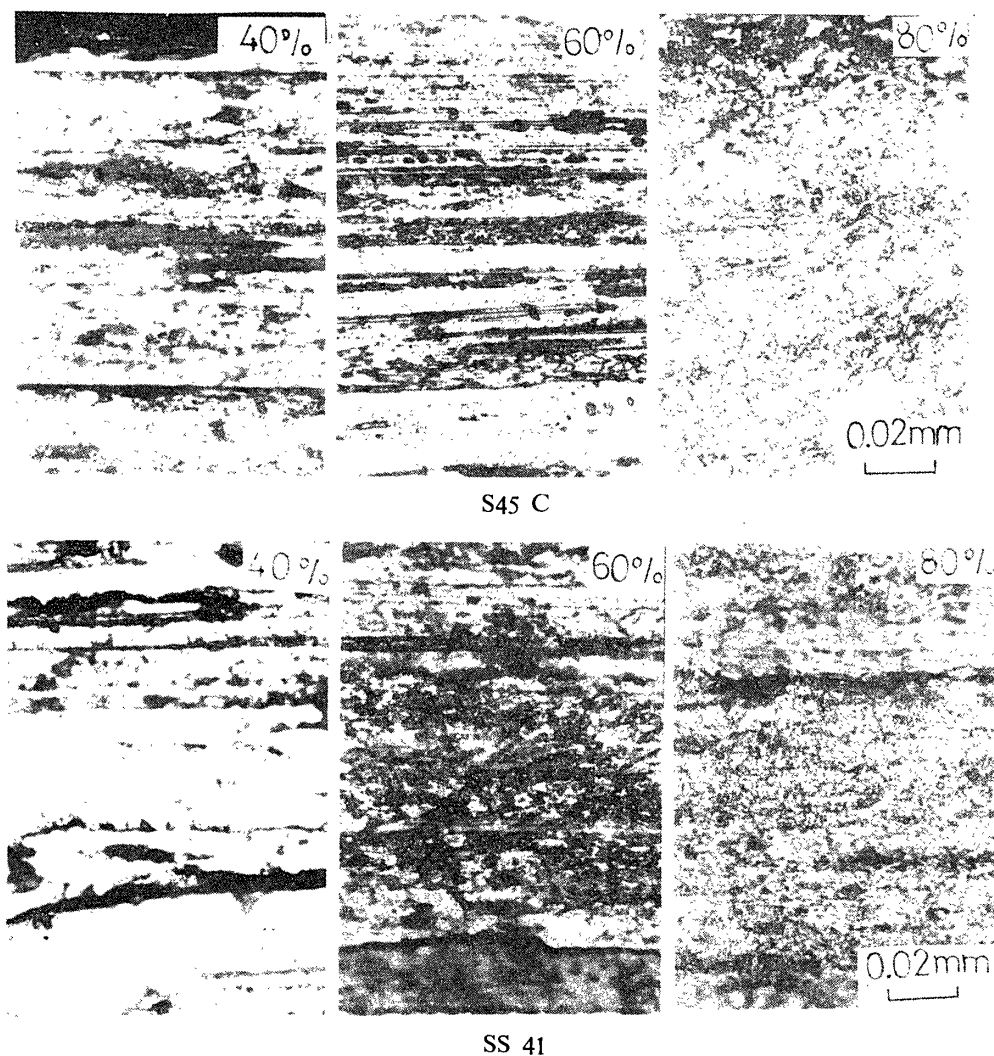
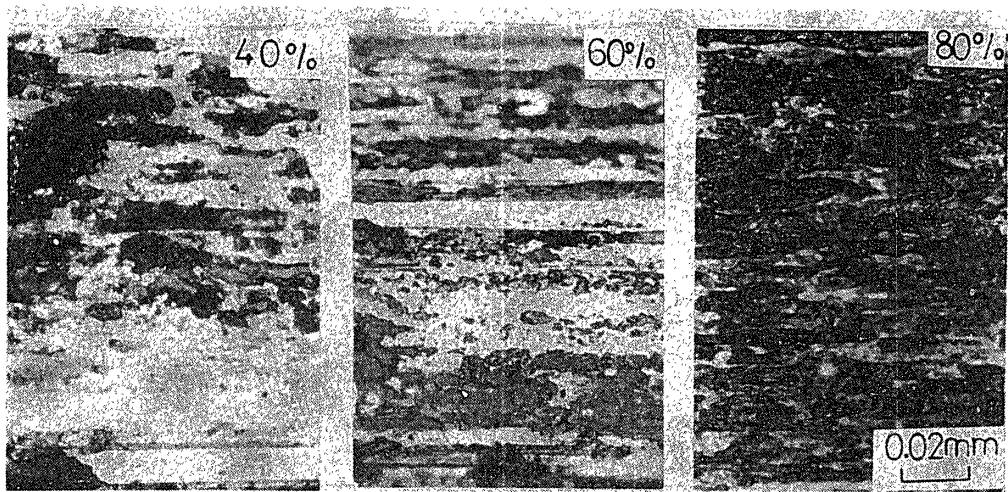


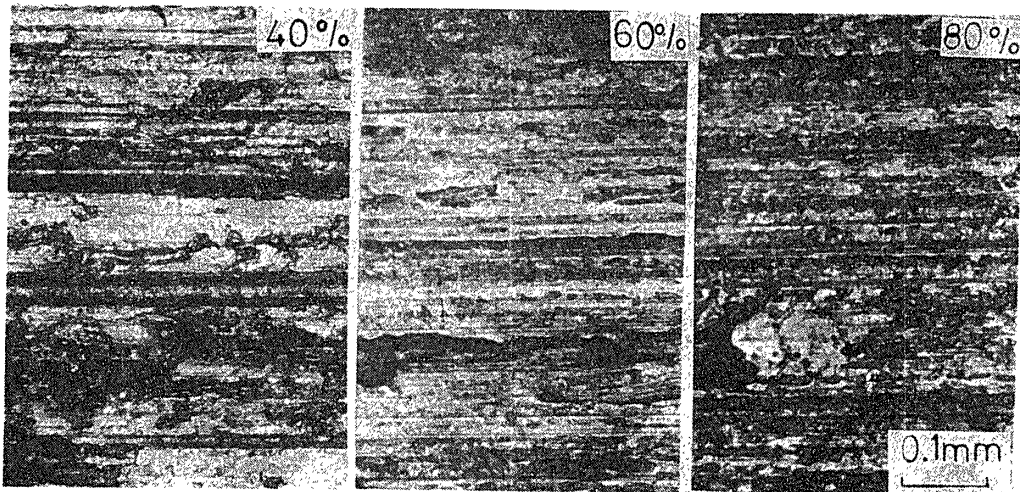
Photo. 1 Worn surfaces of fixed specimens at 0.08/m/s

写真を Photo. 1 に示す。湿度80%の場合表面に均質な酸化物の付着が認められる。この酸化物が摩擦面に付着している以上摩耗は明らかに防止されるであろう。同じことは湿度60%の場合についても言えるが、80%の時よりも機械的破壊摩耗が起こり少しひっかき疵が増大している。湿度40%になると、その差は顕著である。すなわち、低湿度の場合は酸化物の生成はより少ないと考えられる。したがって、低速度の場合でも低湿度の場合は、機械的破壊摩耗により、比摩耗量は多くなると考えられる。また、摩擦速度が大になるに従い、摩耗粉による酸化物の付着よりも、機械的な破壊による摩耗の方が多く

なり、低湿度および高湿度、いずれの場合も、比摩耗量は増加していく。摩擦速度0.76m/s の場合、S45C, SS 41材の摩耗表面の写真を Photo. 2 に示す。いずれの場合も機械的破壊摩耗であるひっかき疵が認められるが、高湿度(80%)の場合は酸化物の付着が低湿度(40%)の場合に比べて多量に形成されていることから、比摩耗量 W_s が酸化物の量に極めて影響されやすいことがわかる。摩擦速度が極めて高速になると比摩耗量 W_s は、低湿度および高湿度の場合ともに減少する傾向にある。このように比摩耗量 W_s が高速域で減少するのは、高速の場合は摩擦面の温度上昇に伴い再び多量の酸化物が形成さ



S 45 C

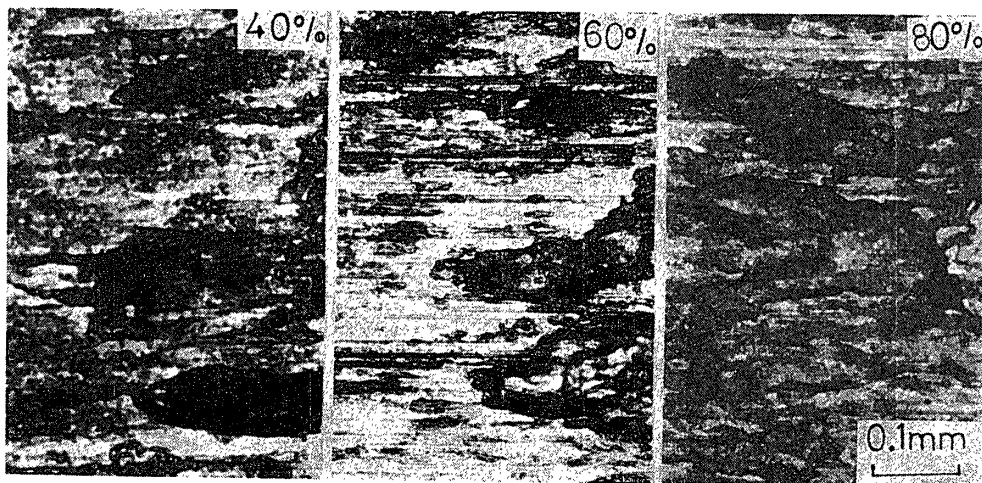


SS 41

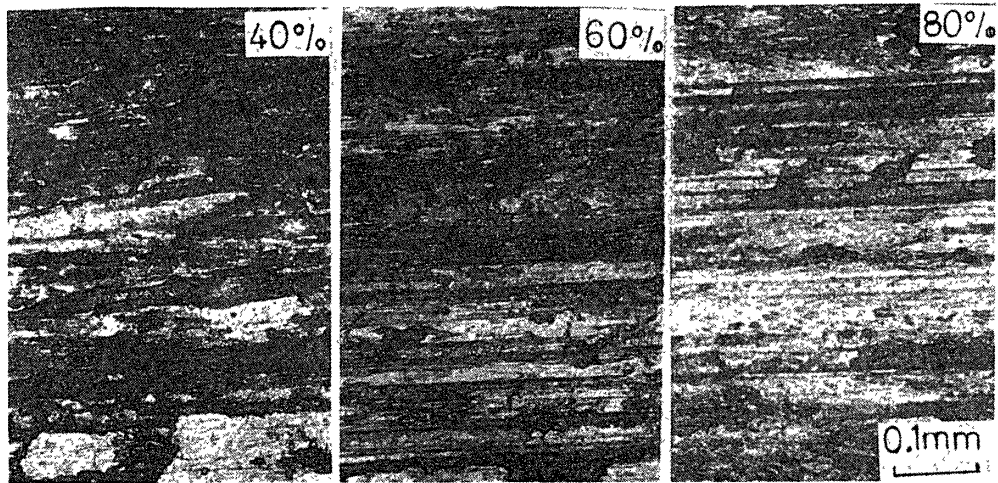
Photo. 2 Worn surfaces of fixed specimens at 0.76 m/s

れるからであろう。しかし低速度の場合に比べると摩擦
耗量か W_s がかなり多いことから、一部溶融摩耗が重畳す

るためと考えられる。摩擦速度3.50m/s の場合の摩耗表
面写真を Photo. 3 に示す。低湿度、高湿度にかかわら



S 45 C



SS 41

Photo. 3 Worn surfaces of fixed specimens at 3.50m/s

ず，溶融摩耗の起こっているのが観察される。

摩擦面に形成される酸化物は大越ら⁶⁾によると低速，軽荷重の場合に生ずる摩耗粉は赤色の酸化鉄 Fe_2O_3 であり，高速域で生ずる摩耗粉は Fe_3O_4 であるといっている。また，葉山ら⁷⁾⁸⁾によると Fe_2O_3 の摩擦係数は大であり， Fe_3O_4 のそれは小さいが， Fe_2O_3 は摩擦面に固着しやすく，平坦な面を形成しやすいといっている。低

速度，軽荷重の場合，摩擦面が雰囲気と接する時間は長くなるので，酸化物の形成にはより有利になるものと考えられる。また雰囲気中に水蒸気が介在すれば，酸化物の形成と表面への付着には都合がよいと推定される。事実 Photo. 1 のように高湿度，低速域の摩耗では表面に均質な酸化物が付着しているのが観察された。均質な酸化物の付着は金属同志の接触を妨げるため比摩耗量が

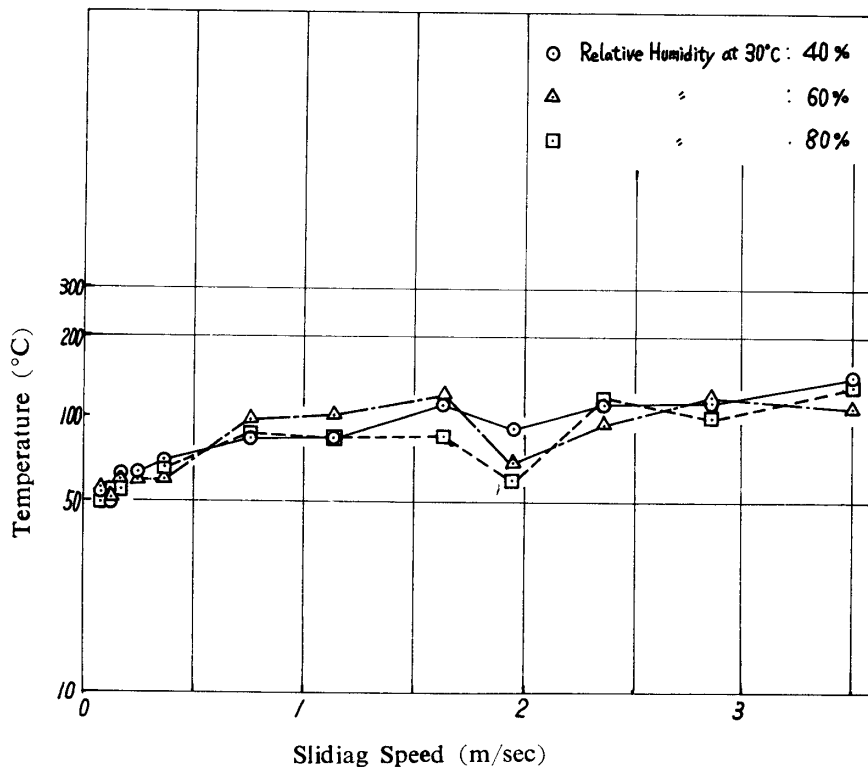


Fig. 5 Relation between friction temperature and sliding speed (S45C-H-S45C)

減ずるものと考えられる。また速度が増加するにつれて Fe_2O_3 の酸化膜が破壊し、機械的破壊摩擦により、比摩擦量は急激に増大するが極大を過ぎる高速域では

Fe_3O_4 を生じ、かつ溶融摩擦が重畳するため再び比摩擦量が減ずるものと考えられる。

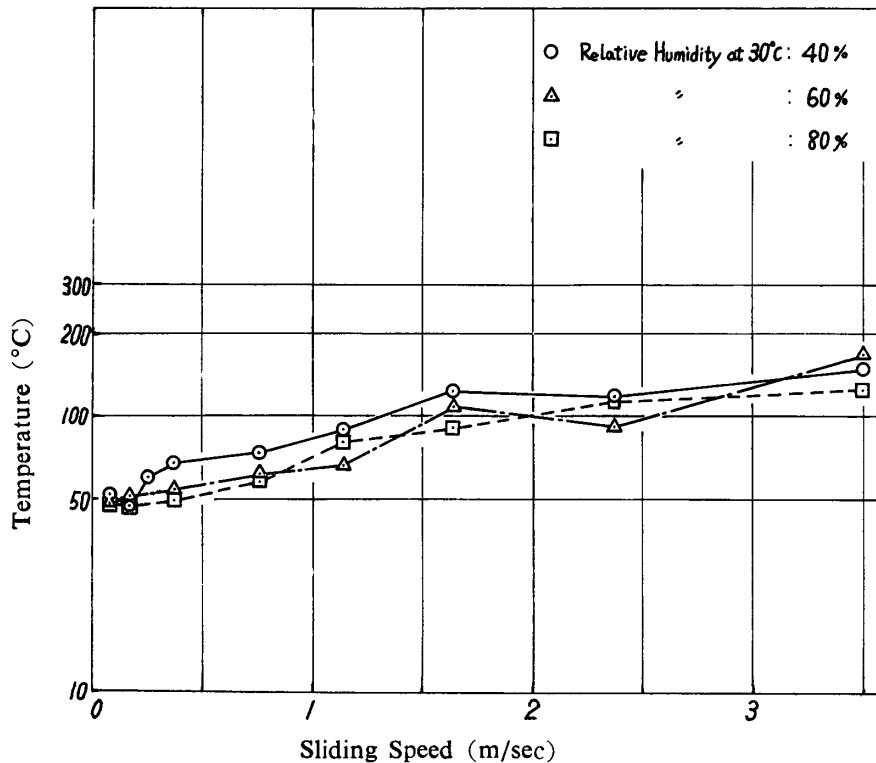


Fig. 6 Relation between friction temperature and sliding speed (S45C-H-SS41)

2. 摩擦面温度 摩擦による表面温度の上昇は試験片の材質変化を伴う。著者は回転試験片が摩擦による温度上昇のため焼戻しを受けることを考え、予め 200°C に焼戻した。表面温度の測定は固定試験片の摩擦面直下 1.5mm から 9.2mm の間に数箇所直径 1.5mm の穴をあけ、シー型CA熱電対により摩擦速度 0.76m/s 、 3.50m/s の2種について温度勾配を求め対数グラフに描いた。以後の実験では固定試験片の摩擦面直下 1.5mm に 1.5mm の穴をあけ同様に温度測定した。先に求めた温度勾配より表面から $1/100\text{mm}$ の位置の温度と摩擦速度、湿度の関係を Fig. 5, Fig. 6に示す。図よりいずれの場合も 200°C を越えないことがわかる。したがって、この固定試験片に接する回転試験片も同様に 200°C を越えないと予想される。事実、実験後表面付近の硬さを微小硬度計で測定した結果、初期の硬さと変らなかった。すなわち、摩擦速度 3.50m/s 以下の場合摩擦面温度上昇に伴う回転試験片の焼戻効果による材質変化を考慮し、 200°C に焼戻すことは妥当であることがわかった。

4. ま と め

大気中に含まれる水蒸気、いわゆる湿度が炭素鋼の乾燥摩擦におよぼす影響を大越式摩擦試験機を用いて実験した結果つぎの事がわかった。

1. 固定試験片が S45C の場合、比摩擦量に極大の現われる摩擦速度は異なるが、相対湿度が40%、60%、80%の順に比摩擦量が少なくなっている。特に、低速域 (0.5m/s 以下) では、高湿 (80%) の場合比摩擦量が極めて少なくなることが認められた。
2. 固定試験片が SS 41の場合、S 45C の場合と同様に低速域で高湿のとき比摩擦量は極めて少なくなることが認められた。
3. SS 41の比摩擦量は S 45C のそれより、約3倍になることがわかった。この原因としては炭素含有量の影響と考えられる。
4. 低速域で高湿の場合、比摩擦量が極小になる理由として酸化物の形成があげられるが、この酸化物は Fe_2O_3 と推定される。 Fe_2O_3 は低速域で摩擦面に固着

しやすく、平坦な面を作るため比摩耗量が減ずると考えられる。比摩耗量が極大付近では Fe_2O_3 の酸化膜が破壊し、金属同志の凝着のため比摩耗量が増大するものと推察される。

5. 高速域では、再び比摩耗量は減じ、低湿および高湿にかかわらずほぼ一定になるが、高速域では試験片温度も上昇し Fe_3O_4 の生成と溶融摩耗が重畳するため、低速域に比べかなり比摩耗量が多いものと推察される。

6. 摩擦速度 3.50m/s 以下の場合、摩擦面より $1/100\text{mm}$ の温度上昇は 200°C を越えないことがわかった。

なお、本研究にあたり御協力下さった東芳一君（横河電機）、山本英雄君（旭計器）、松原洋二君（八幡工事）に深く感謝します。

参 考 文 献

- 1) 里吉, 葉山: 金属学会誌, 33 (1969), 934.
- 2) F. P. Bowden and D. Tabor (曾田訳): 固体の摩擦と潤滑, 丸善 (1961), 284.
- 3) 里吉, 葉山: 金属学会誌, 32 (1968), 11
- 4) 佐藤: 表面工学概論, 養賢堂 (1964), 149
- 5) 大越, 坂井: 機械学会, 35 (1943), 9, I-67.
- 6) 大越, 坂井: 機械学会, 29 (1941), 7, I-29
- 7) 里吉, 葉山: 金属学会誌, 32 (1968), 1
- 8) 里吉, 葉山: 金属学会誌, 32 (1968), 12

(昭和51年9月1日受理)