

# 金属のころがり磨耗の研究（第一報）

—— 軟鋼 について ——

宇 都 龍 行, 南 孝 一

Study of abrasion of the rolling metal steel. (1st Report)

—— On the low carbon steel ——

Tatuyuki UTO and Kouichi MINAMI

## 緒 言

機械工学に於て材料面から問題になるのは、1に磨耗、2に疲労、3に切欠という現象である。特に磨耗現象は複雑機構を含むためにその体系化は困難といわれている<sup>1)</sup>。今日まで多数の研究発表<sup>2)3)4)</sup>がなされているが、軟鋼（0.14% C, 0.21% C）については発表されていないようである。

それには理由があるけれども、磨耗の現象を調べるには最も軟鋼が適当であり、基礎的磨耗現象の機構解明には適切であると思う。この観点に於て筆者は乾性と湿性とにわけて根本的にその磨耗進行過程を追ったつもりである。

磨耗は材料のいかなる物理的变化から起ってくるかを特に塑性変形（特に加工硬化）から研究しようとしたものである。

## A 乾 性 篇

### 1. 実 験 材 料

使用した材料の機械的性質は、Table. 1 に示す。その顕微鏡組織は Fig. 1 に示す。なお試験片はいずれも熱処理は施さずそのまゝの状態である。

### 2. 実 験 方 法

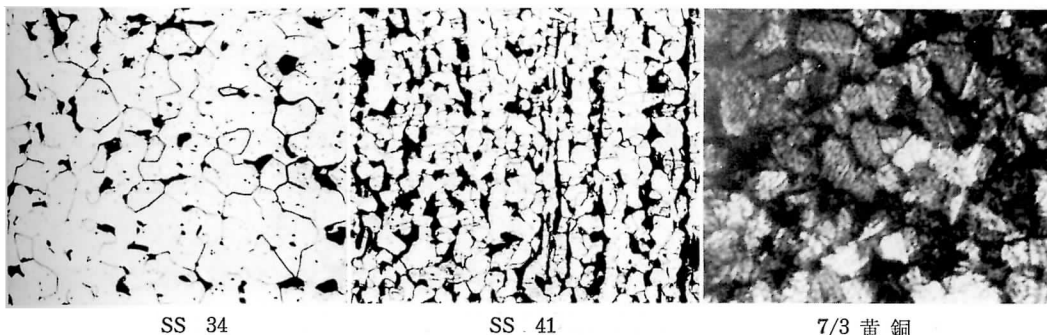


Fig. 1 試験片顕微鏡組織 × 100

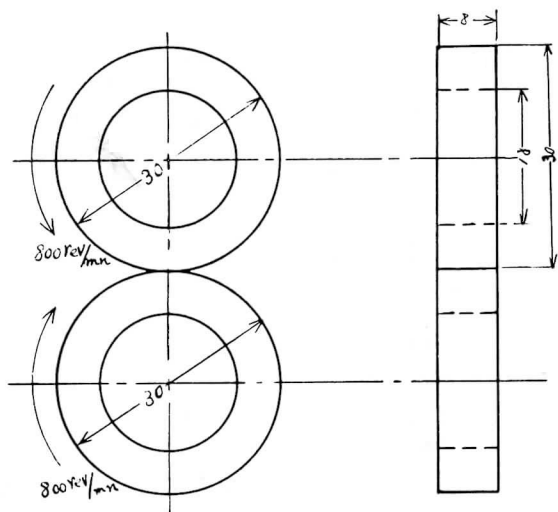


Fig. 2 試験片

Table 1 材料の機械的性質  
(推定値 JIS より)

性 質 \ 材 料	SS 34	SS 41	7.3 (α) 黄 銅
炭 素 量 (%)	0.14	0.21	
ビ ッ カ ース Hv	97.14	117.14	62.80
シ ョ ア 硬 度 Hs	16.19	19.52	6.30
疲労限 $\sigma_w$ kg/mm <sup>2</sup>	17.00	20.50	17.14
剪断強さ $\tau$ kg/mm <sup>2</sup>	25.50	30.75	
降伏点 $\sigma_s$ kg/mm <sup>2</sup>	17.00	20.50	
伸 び (%) $\delta$	37.19	33.935	61.43

実験は西原式磨耗試験機 (アムスラー式磨耗試験機と同様) に Fig. 2 の円筒状試験片を使用した。接触面は、ヘールライトで仕上げたのちペーパー (# 150) で研磨したもので、表面あらさは、大越式超アラサ検査機で測定の結果、SS 34 及び SS 41 は平均  $2 \mu$ , 7/3 黄銅  $0.6 \mu$  程度を得た。

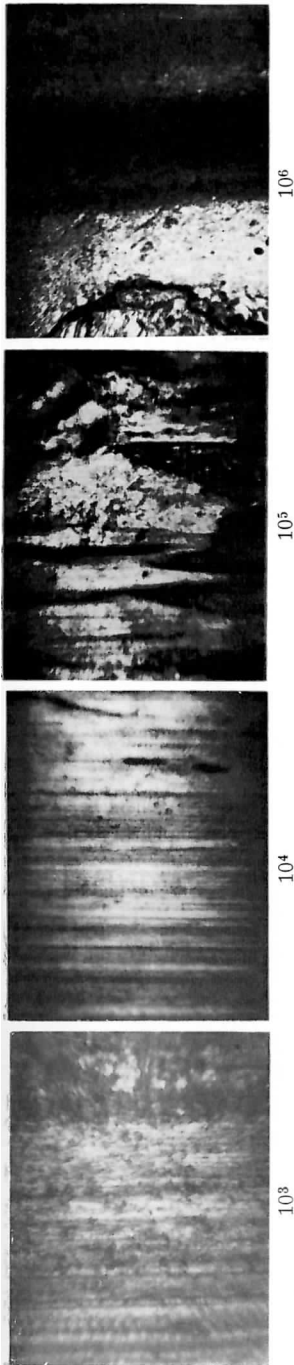
上下試験片の取付軸の回転速度は 800 rev/mn で、したがって上下試験片の外周速度は 1.256 m/sec である。磨擦圧力は  $50 \text{ kg/mm}^2$ ,  $100 \text{ kg/mm}^2$ ,  $150 \text{ kg/mm}^2$ , すなわち最大圧縮応力は約  $55 \text{ kg/mm}^2$ ,  $78 \text{ kg/mm}^2$ ,  $96 \text{ kg/mm}^2$ , という大きな応力のもとで実験した。

磨耗量は試験前に試験片をアルコールで充分洗滌し、繰返数約  $10^3$ ,  $10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$  回転毎に取外し、アルコールで洗い、乾燥後ただちに精密化学天秤で秤量し、その重量の減少より磨耗量を測定した。なお極端な磨耗<sup>5)</sup>が発生した時は実験を中止した。試験に供した金属面の組み合わせは次の 4 種類である。SS 34—SS 34, SS 41—SS 41, SS 34—7/3 黄銅, SS 41—7/3 黄銅。

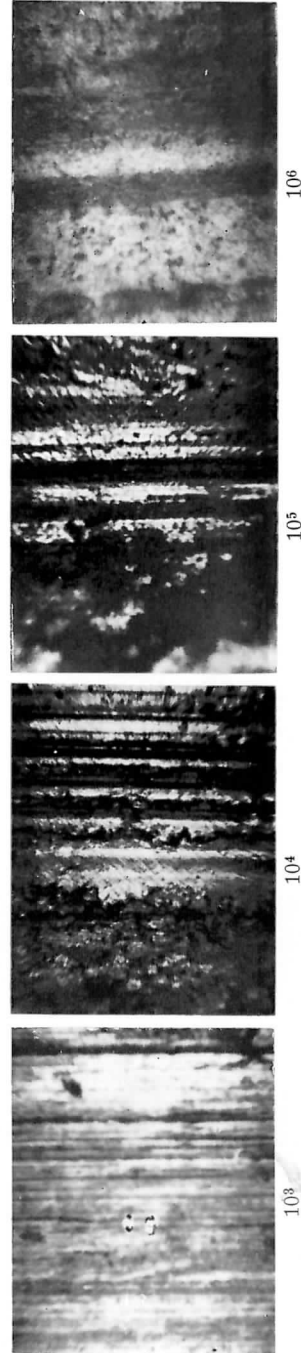
### 3. 実験結果および考察

SS 34—SS 34 の組み合わせの場合の磨耗経過は、Fig. 3。磨耗量—繰返数—圧力 (応力) 線図は、Fig. 4 のごとくで、下試験片磨耗量が上試験片より大きい結果を示している。Fig. 3 の  $50 \text{ kg/mm}^2$  荷重の時は大越氏の分類<sup>6)</sup> からいえば  $10^3$  回転は酸化磨耗,  $10^4$  回転は輝面,  $10^5$  回転において疲労 (これを斑と判断してよいかどうか疑問である) による破壊磨耗を示している。 $100 \text{ kg/mm}^2$  荷重になれば  $10^4$  回転において、すでに疲労破壊現象を起している。 $10^5$  回転になれば流動と剝離が起り大きな磨耗量を示す。

その結果 Fig. 4 のごとき線図が現われた。ちなみに西原氏の分類をかりるならば、 $10^3$  回転が第 1 期であり、 $10^4$  回転が第 2 期、 $10^5$  回転で第 3 期 (湿性ならば、斑といえる)  $10^6$  回転で疲労破壊磨耗と思われる。



材料: SS34  
P=50kg/mm<sup>2</sup>



材料: SS34  
P=100kg/mm<sup>2</sup>

(Fig. 3 同種組合せの磨耗面経過)

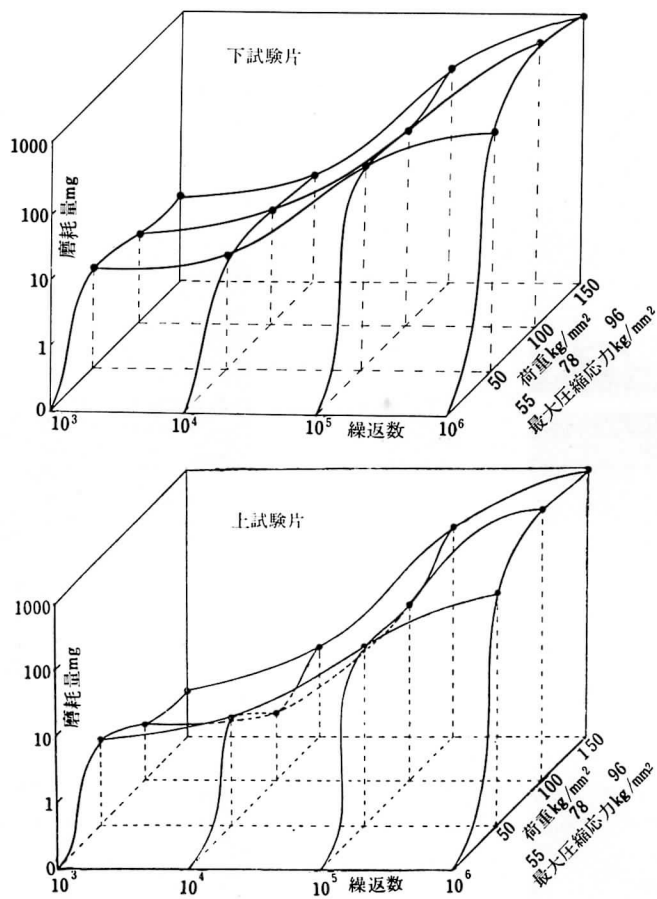


Fig. 4 SS 34 の磨耗曲面

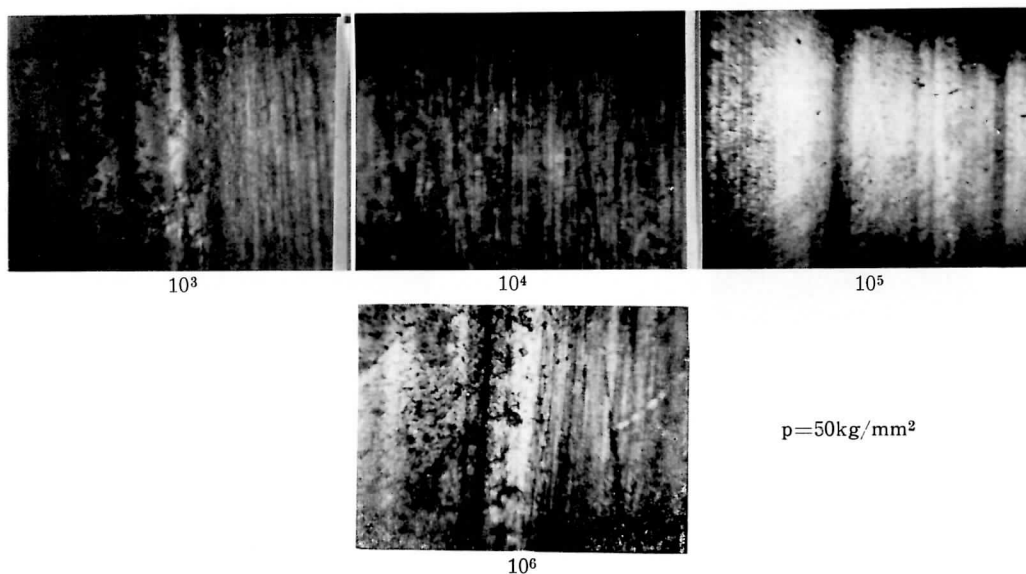


Fig5. SS41-SS 41 の磨耗面経過

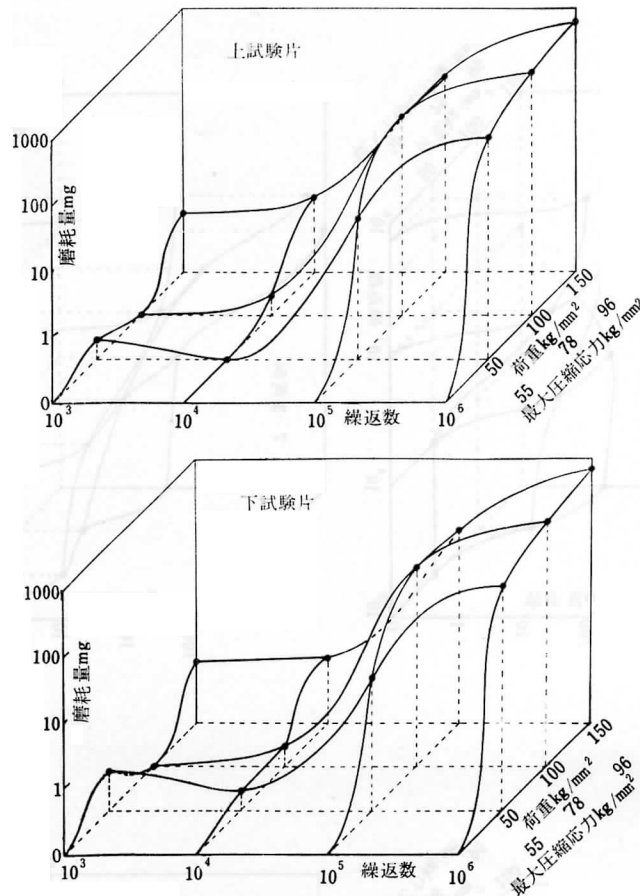


Fig. 6 SS 41 の磨耗曲面

同様に Fig. 5 より SS 41—SS 41 も機械的性質は、SS 34 より一段とすぐれた性質をもつものであるが、Table 1 程度の材料では同じ傾向を示しているようである。しかし、Fig. 6 の線図から荷重 50 kg/mm<sup>2</sup> の場合は上下ともに 10<sup>3</sup> 回転は 1 mg 程度の磨耗量を示すが、10<sup>4</sup> 回転では減少し、10<sup>5</sup>、10<sup>6</sup> 回転は共に急激な増加をたどっている。

この傾向はわずかではあるが、Fig. 4 の SS 34 も同様である。これを判断するには 50 kg/mm<sup>2</sup> から 100 kg/mm<sup>2</sup> の間に磨耗量を最少にする適当な圧力が考えられる。これを西原氏<sup>7)</sup> も認めている。

又 SS 34—7/3 黄銅、SS 41—7/3 黄銅の線図の場合も、すなわち、Fig. 7、Fig. 8 のごとく前述の SS 34 同士と同じような傾向と認めてよいと思う。しかし、7/3 黄銅の場合は 10<sup>5</sup> 回転近辺で熔着現象を起して実験続行不可能であった。その経過は、Fig. 9 のとおりである。なお 10<sup>6</sup> 回転後における表面硬化層の顕微鏡組織は、Fig. 10 のごとくである。

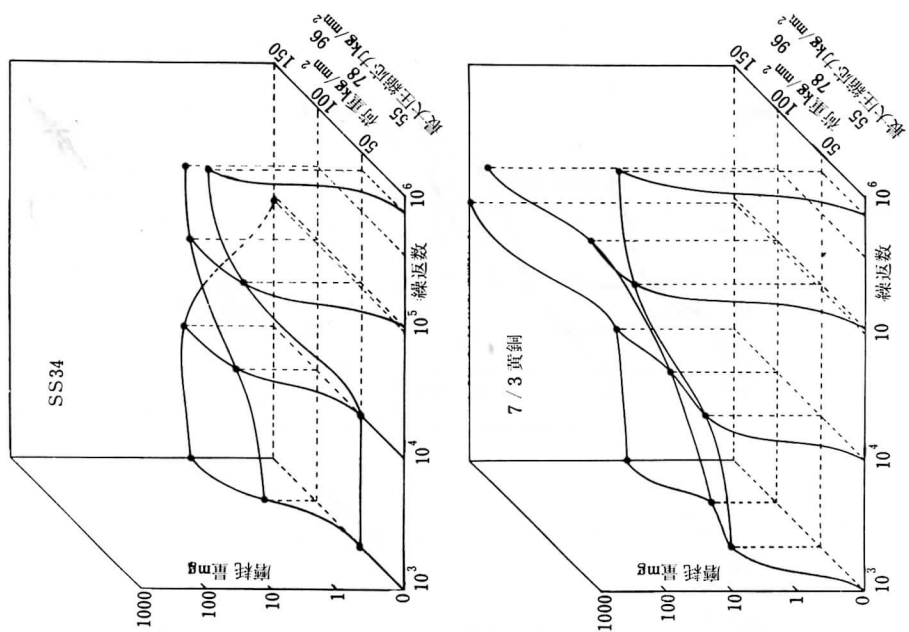


Fig. 7 SS34—7/3 黄銅の磨耗曲面

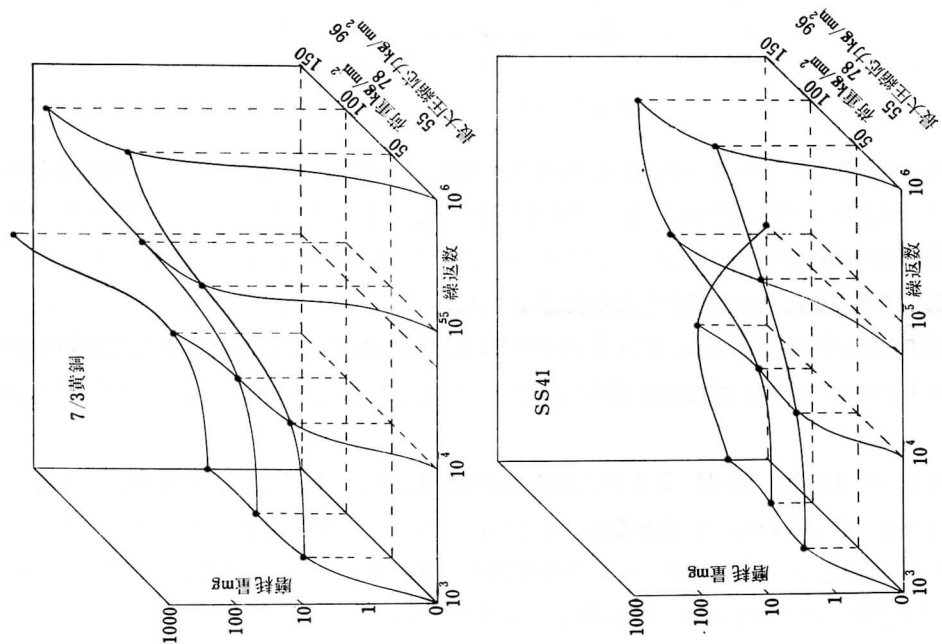


Fig. 8 SS41—7/3 黄銅の磨耗曲面

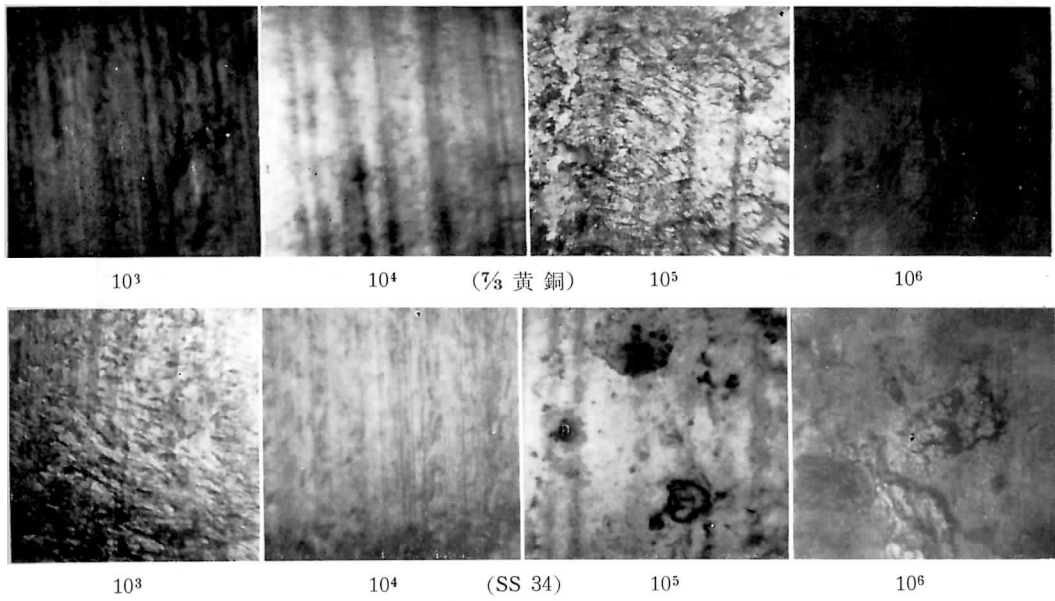


Fig. 9 SS 34—7/3 黄銅の磨耗面経過

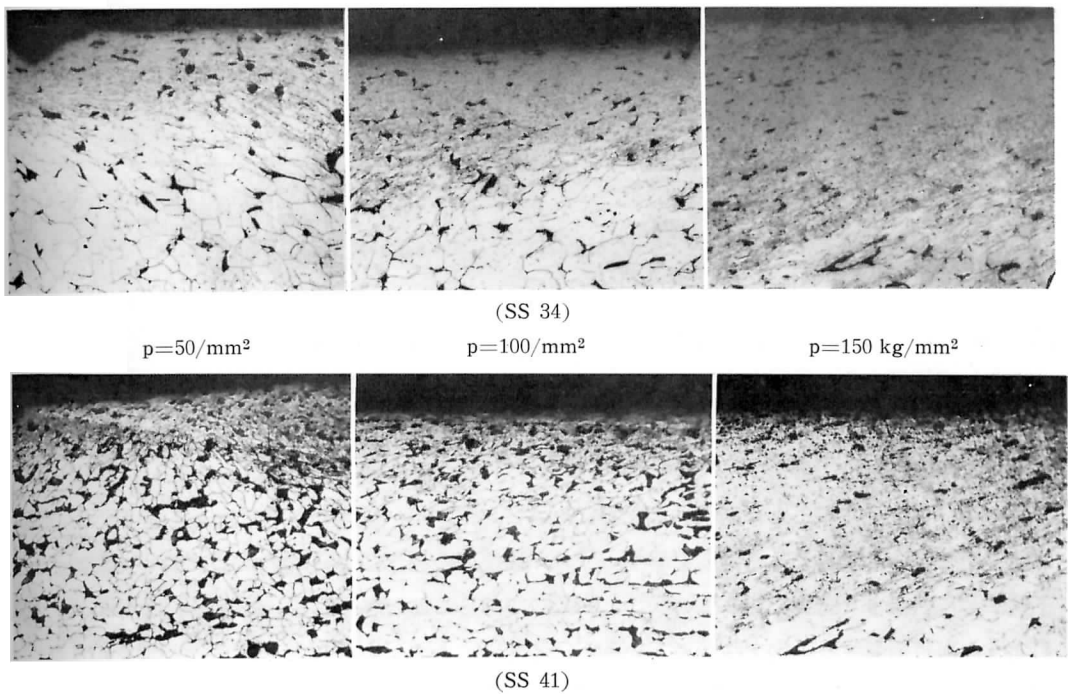


Fig. 10 表 面 硬 化 層  $\times 100$

## B. 湿 性 篇

### 1. 実 験 材 料

これは乾性篇と同じ材料を使用した。

### 2. 実 験 方 法

乾性篇と同試験機を使用し、Fig. 11 の給油装置を使用し連続的に Table 2 の潤滑油を供給しつつ乾性篇同様に磨耗量、磨耗進行状態を調べてみた。給油量はスピンドル油 28 cc/mn, マシン油 16 cc/mn の条件で接触面に給油した。上下試片の回転速度、磨擦圧力は共に乾性と同じ条件である。

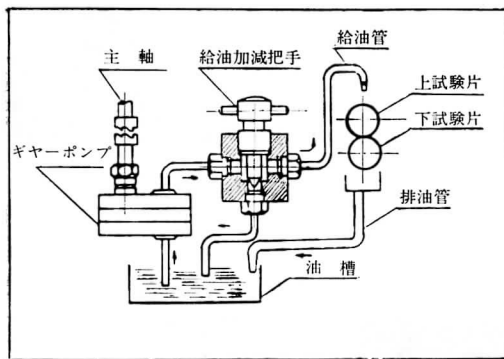


Fig. 11 給 油 装 置

Table 2 潤 滑 油 性 状

性 状	種 類	スピンドル油 1 号	マ シ ン 油 2 号
色	(セーボルト) (ユニオン)	— 2 以下	—
反 応		中 性	中 性
引 火 点 °C		130 以上	160 以上
動粘度 Cst	(30°C) (50°C)	8~18 3.5 以上	— 3.5~4.5
銅板腐食(100°C, 3h)		1 以下	1 以下
流 動 点 °C		-5 以下	0 以下

### 3. 実験結果および考察

#### a) SS 34 同士の場合

Fig. 12, Fig. 13 のごとく乾性と同様な傾向を示しているが荷重が  $100 \text{ kg/mm}^2$  を超すと磨耗量が  $10^5$  回転までの傾向に比較して  $10^5$  回転以上では大きな磨耗が見られる。これは、Fig. 14 に見られるごとく乾性では見られない大きな剥離現象を起している。この現象は西原氏<sup>8)9)</sup>が、Fig. 15 のような流体圧力分布線図を出しているが、この流体圧力が剥離の最大の原因であると考えられたのは明瞭である。

#### b) SS 41 同士の場合

Fig. 16, Fig. 17 のごとき磨耗曲面を得た。スピンドル油、使用のさいはほとんど SS 34 のマシン油使用の場合と同じような傾向を示す。マシン油使用の場合は  $100 \text{ kg/mm}^2$  において磨耗量が上下共に  $10^5$  回転まで僅少であるということは興味のあることと思われる。Fig. 18 より SS 34 と同じような斑磨耗発生の経過をたどっているが、とくに、Fig. 18 のごとく大きな剥離を起すのは、Fig. 19 のごとく表面硬化層が大きいために起るのだと考えられる。Fig. 19 からスピンドル油の場合、SS 41 が亀裂を起しているようである。この点については潤滑油の粘性と材料の硬度の間に何

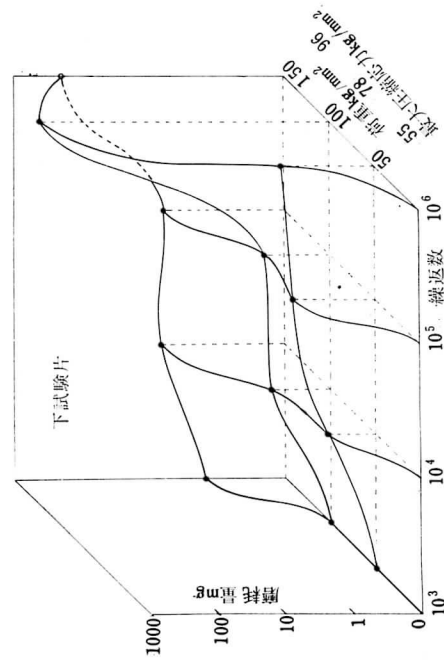
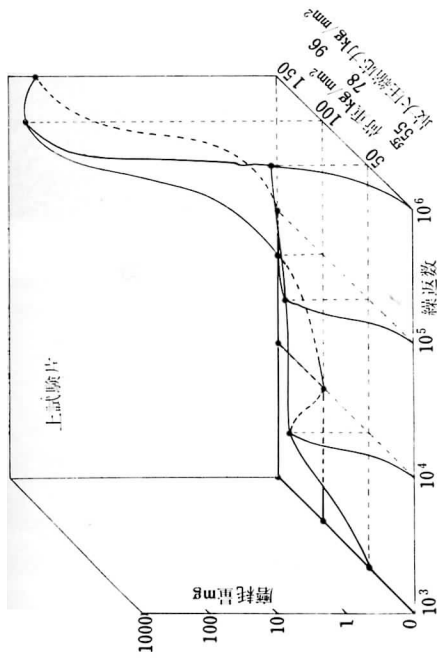


Fig. 12 SS 34 の磨耗曲面  
(潤滑油: スピンドル油)

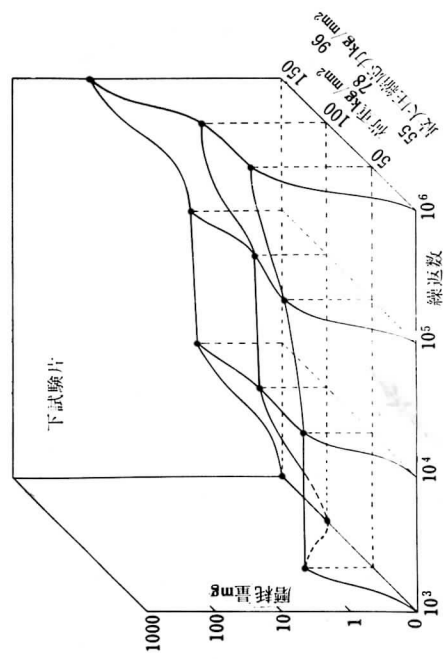
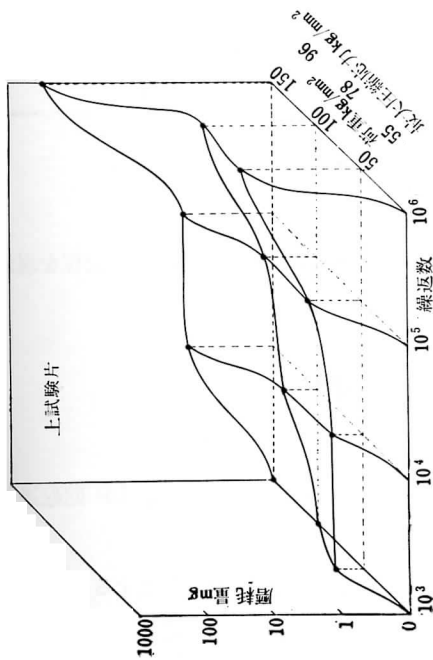


Fig. 13 SS 34 の磨耗曲面  
(潤滑油: マシン油)

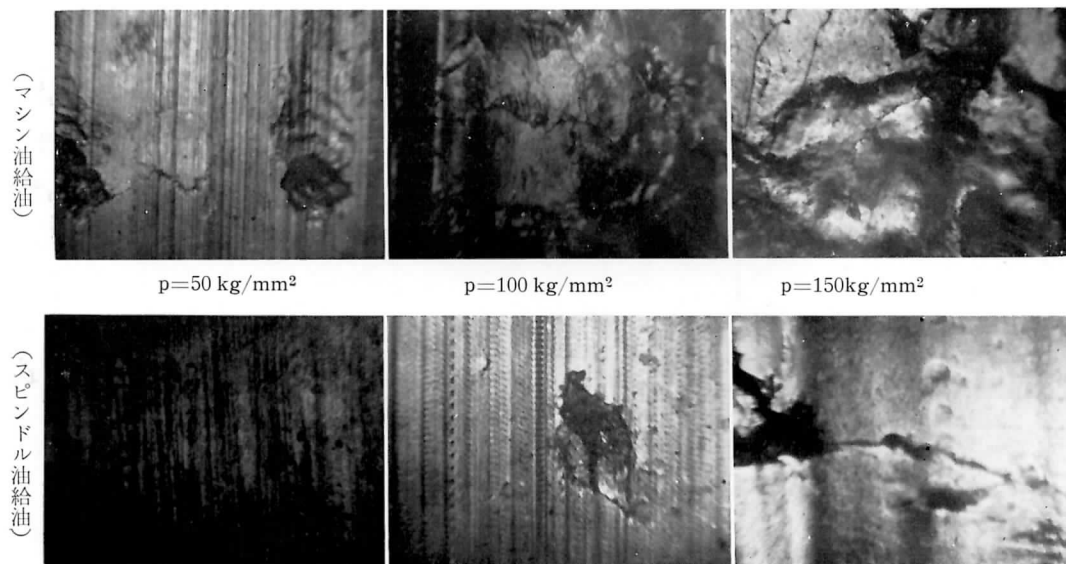


Fig. 14 斑 磨 耗 面 (材料: SS34)

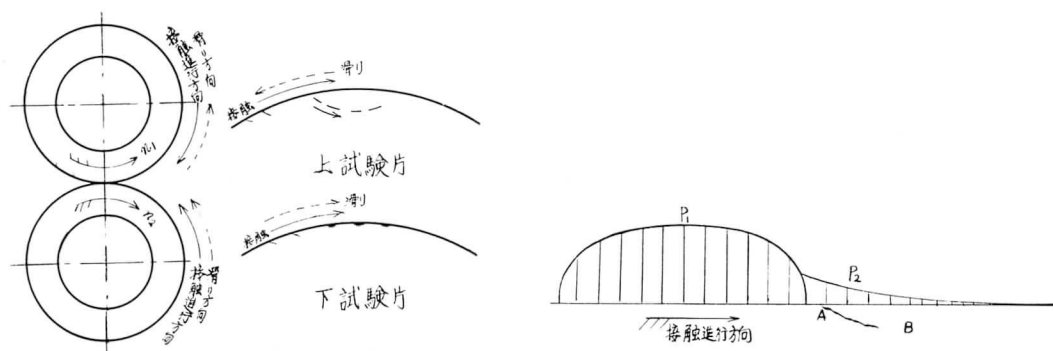


Fig. 15 斑 磨 耗 孔 の 発 生 機 構

か関係があるものと解してよいと思う。ちなみに, Fig. 20, SS 41 は斑磨耗の発生過程を現わしている。SS 34—7/3 黄銅は省いた。

## 結 論

以上の実験結果を要約すれば, 次のごとくである。

- 1) Fig. 21 の磨耗量—繰返線図から 降伏点応力の 2 倍以上の圧縮応力では,  $10^5$  回転過ぎに変曲点を生ずるものと思われる。
- 2) 表面硬化層は, Fig. 22 の  $10^5$  回転の厚さになれば 斑磨耗を 徐々に発生するものと思われる。これには硬化層の硬さ, および深さが非常に影響するものと思われる。それで硬化層の硬度と深さを, Fig. 22, Fig. 23 のごとく微小硬度計で極力精密に求めた。すなわち, SS 34, SS 41 の

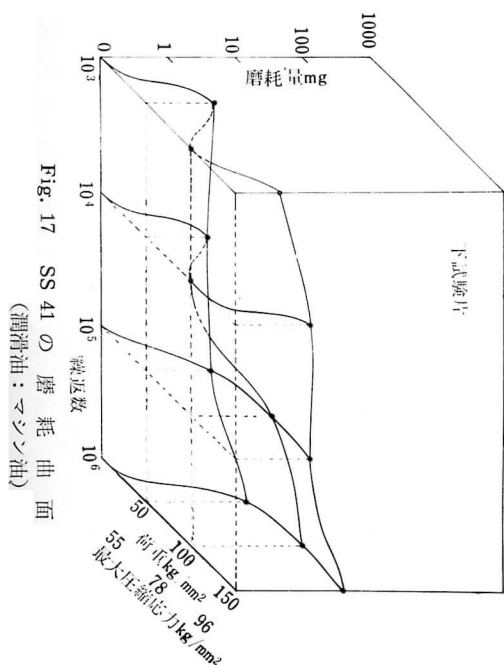
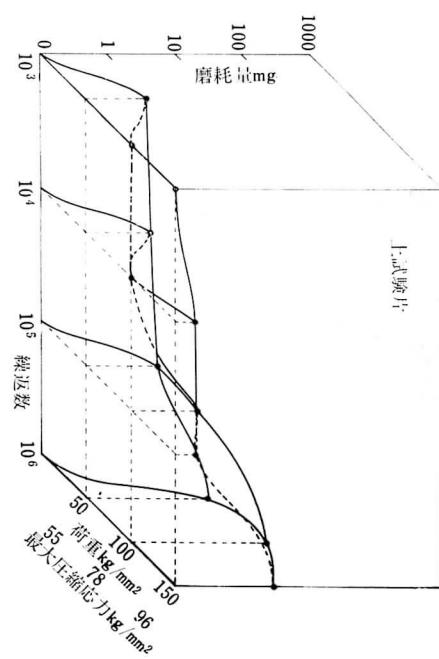


Fig. 17 SS 41 の磨耗曲面  
(潤滑油：セレン油)

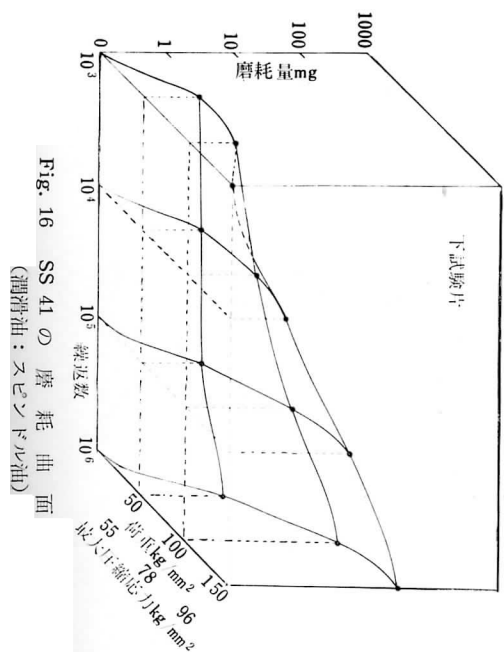
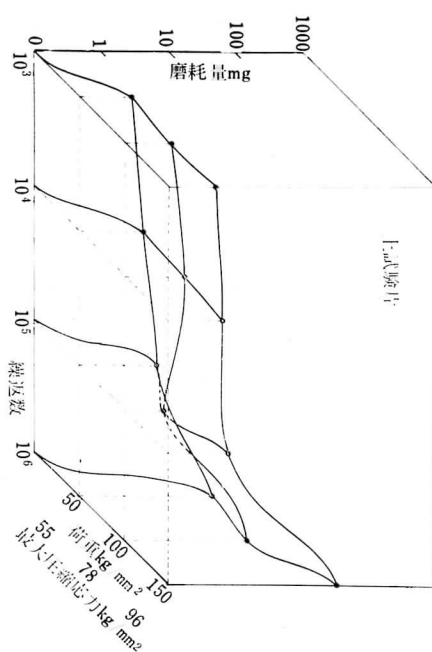


Fig. 16 SS 41 の磨耗曲面  
(潤滑油：スベンドル油)

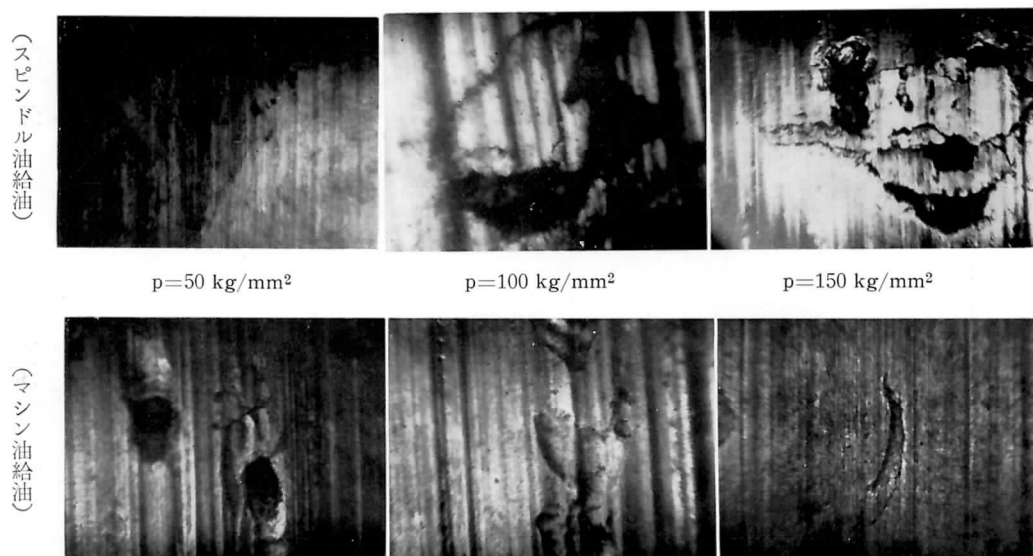
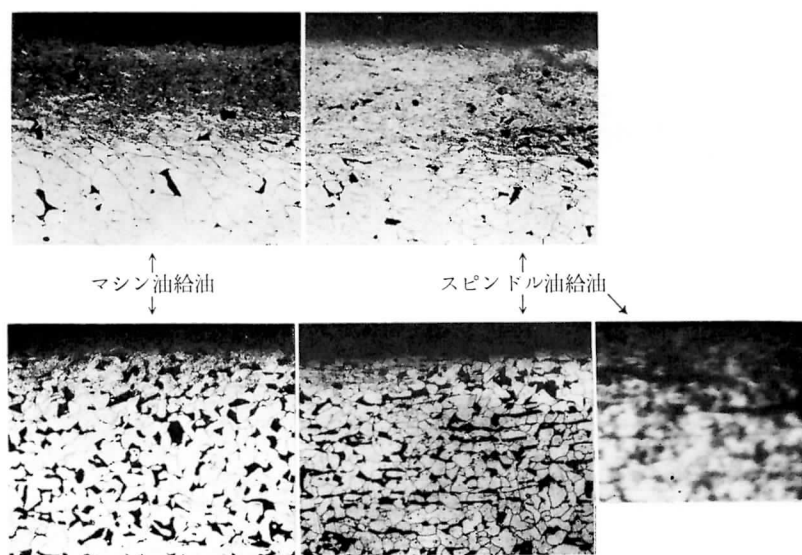


Fig. 18 斑 磨 耗 面 (材料: SS 41)

Fig. 19 10<sup>6</sup>回転後における表面硬化層 (p=150 kg/mm<sup>2</sup>)

×100

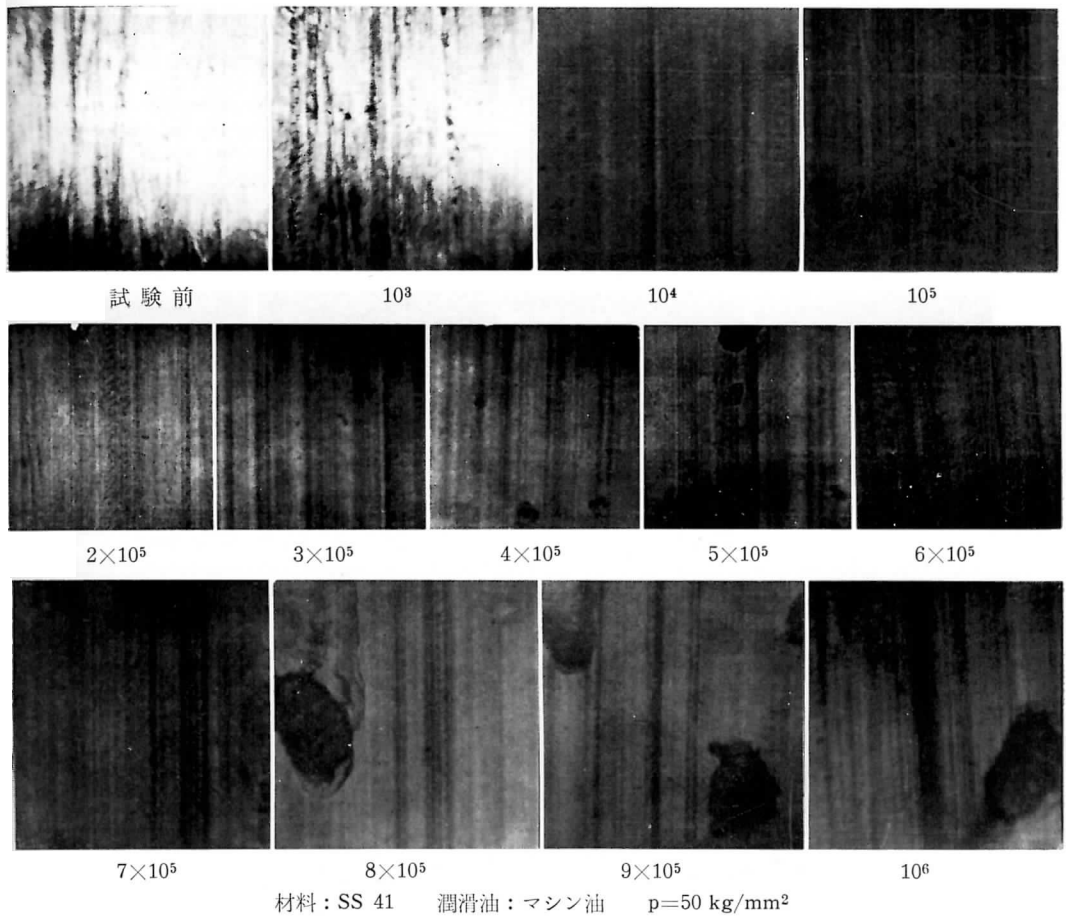


Fig. 20 斑磨耗の発生過程

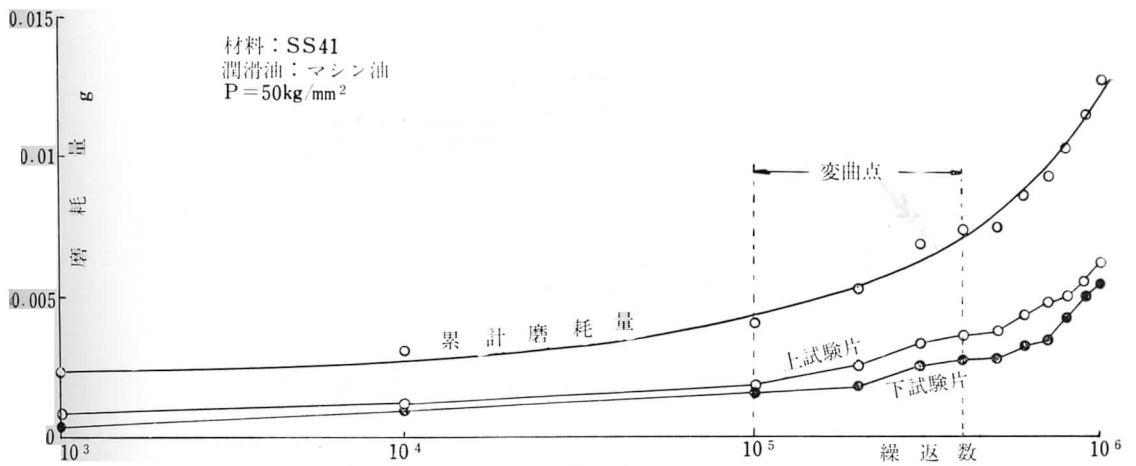


Fig. 21 摩耗量—繰返線図

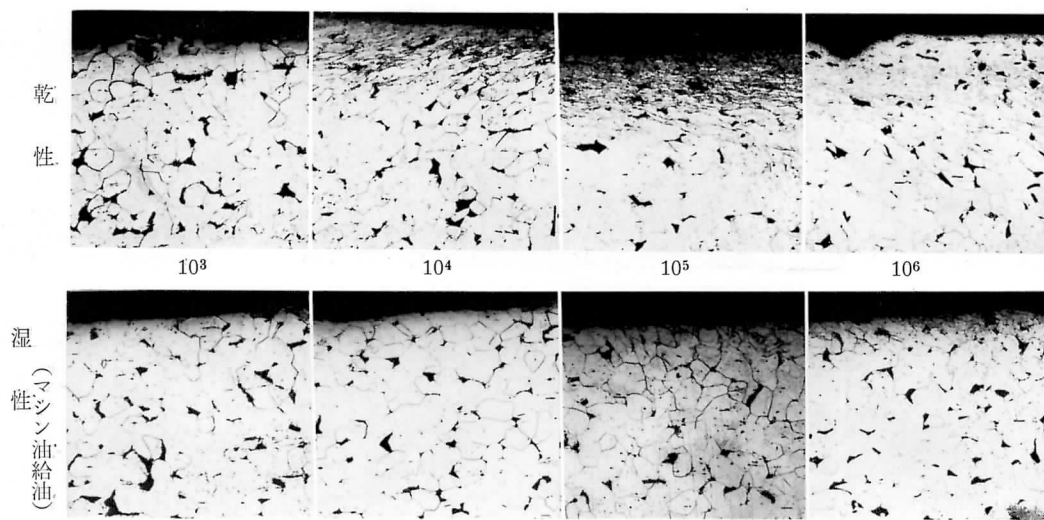
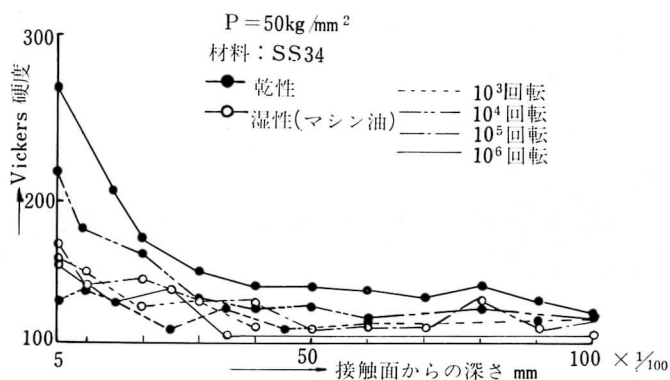
Fig. 22 表面硬化層 (材料 SS 34,  $P=50 \text{ kg/mm}^2$ ) $\times 100$ 

Fig. 23 硬化層の硬度

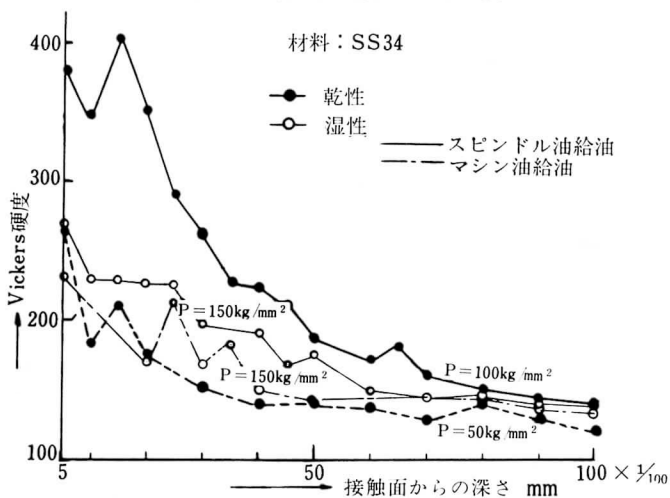


Fig. 24 硬化層の硬度

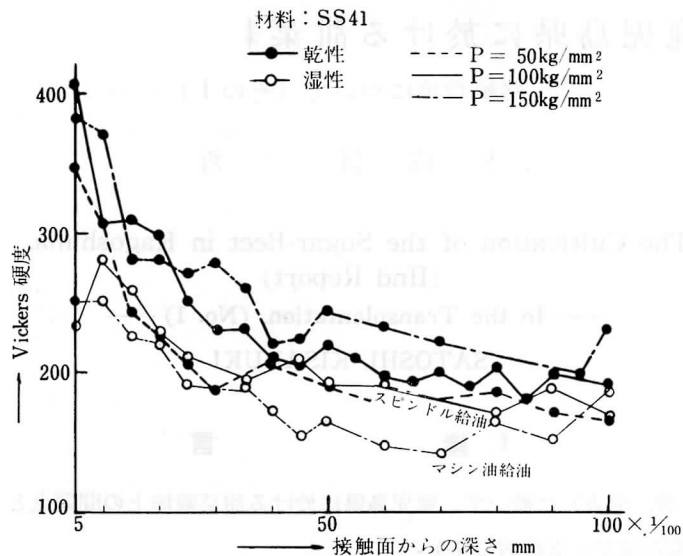


Fig. 25 硬化層の硬度

如何を問わず（もちろん低素鋼であるが） $10^5$  回転において、硬化層は荷重の大きさに比例した傾斜をなして、50/100 mm 位まで硬化しているようである。もちろん 1 mm の深さまでは硬化影響をうけている。なお、Fig. 24, 25 の湿性においては乾性の 1/2, すなわち 25/100 mm 位の硬化層を形成する。これは潤滑油の効果といえる。もちろん前述のごとくマシン油が高荷重において効果が大きいことを示している。

3) 表面あらさは  $2\mu$  までならばあまり影響はなかった。

4) ころがり磨擦においては発熱は無視できるようである。

終りにこの実験に協力くださった、工学部末永教授、平山副手に感謝します。

#### 文 献

- 1) 朝 倉：機械学会論文集：5—21 (1940) 1—75
- 2) 朝倉他：機械学会論文集：6—25 (1941) 1—1
- 3) 大越他：機械学会論文集：8—35 (1943) 1—65
- 4) 伊藤他：機械学会論文集：11—61 (1951) 1—156
- 5) 西 原：機械学会誌24, p. 187 (1934)
- 6) 大 越：機械学会論文集：7—29 (1941) 1—29
- 7) 西 原：機械学会論文集：3—13 (1938) 1—292
- 8) 西 原：機械学会論文集：5—21 (1940) 1—89
- 9) 西 原：機械学会論文集：7—29 (1941) 1—67
- 10) 作 藤：表面工学概論：p. 138 (1962)
- 11) F. P. Bowden and D. Tabor：(曾田範宗訳) "The Friction and Lubrication of Solids" p. 82 (1961)