

凹凸を有する転がり回転面の減少について

小 川 壽*

On the Decrease of a Revolving Surface with Roughness

Hisashi OGAWA

Abstract

This study will clarify what decrease in an early revolution the superficial roughness of materials shows on a revolving surface with a slip.

It was made clear that the increase in abrasive quantity and the decrease in rugged surface were in proportion to a logarithm, but adhesive wear was caused by a high contact pressure on the occasion of a dry friction.

The decreasing quantity of rugged surface had one and half times as much as double ratio against the rate of increase of load.

1. 緒 言

材料の接触に於いては摩擦、摩耗、熱等の種々の問題が生ずるがその表面の状態についても又、その解析が必要となってくる。従来、平面に於ける凹凸表面での接触については実験的並びに理論的方面での研究は多くなされてきているように思う。^{1)~5)} 平面と同様に回転接触する部分の表面状態も重要な意義を持つものであるが、接触部分の均一性が加工上問題となり余り行なわれていないように思う。⁶⁾ 本報では比較的大きな表面アラサを作り回転をともなった面での凹凸状態が滑り率、接触圧に對しどのように減少するかを明きらかにし、摩耗量との関係についても解析及び実験を行なった。

2. 試験片及び実験方法

2.1 試験片

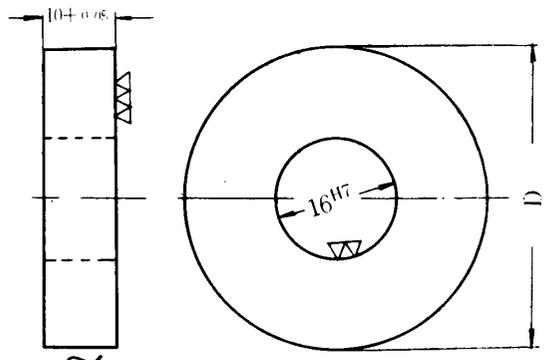
本実験に使用した試験片は市販55φ 機械構造用炭素鋼 S45Cで形状については図1に示す。試験片の化学的的成分、焼鈍硬度、機械的性質は表1、表2に示してある。熱処理は650°Cまで徐々に温度を増加し、30分間保温した後空冷して低温焼鈍を行なった。

Table 1 Chemical compositions and hardness of the normalizing specimens. (wt %)

	C	Mn	Si	P	S	Hv
S 45 C	0.42	0.60	0.27	0.018	0.002	170

Table 2 Mechanical properties of material.

Yield strength (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Reduction of area (%)
29.1	58.8	25.0	31.1



D = 50.0, 45.0

Fig. 1 Test piece

* 宇部工業高等専門学校機械工学科

2.2 実験方法

本実験で用いた試験機はアムスラー型金属摩擦試験機で試料の径50φを基準にして10%、20%の相対滑りを与えた。下部試験片の回転数を基準として50~10⁴回転までの初期的な回転数に対してその表面アラサと重量とを調べた。潤滑の際はスピンドル油(#60)を使った。表面アラサは10点以上の高さの平均値から平均高さを求め、次の回転数のそれよりの差をもってΔuを決めた。重量は直示天秤を使用し、ベンジンで表面をよく拭いて計った。本試験機は最低負荷重量が25kgの為、それ以下の負荷に対してはバネ計りでつり上げて、接触部分が無接触状態からの間を等間隔に区切って負荷重量を決めた。

2.3 表面形状

下部試験片の直径は一定長さ(50mm)に研削仕上げした後、突切りバイトで表面にアラサを作った。

上部試験片は研削のまま両試験片を接触させた。次に表面の突起により形成されている表面アラサに対する確立密度は次のように表わされる。

$$F(m\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-m\sigma}^{m\sigma} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} dy \quad (1)$$

σ: アラサ分布曲線の標準偏差

m: アラサの加工定数

突起の数をnとするとnは

α=B/Tとおくと B: 全平面幅

n=αF(mσ) P: 加工された突起の一区間 pitch

で表わされる。接触圧力の影響を考慮すると真実接触点数n'は

$$n' = \alpha F_1(m\sigma) + \alpha F_2(m\sigma) \quad (2)$$

となる。則ち、F₁(mσ)はΔuのみによる確立密度であるがF₂(mσ)は接触によるくいこみの確立密度を表わす。

$$F_2(m\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{m\sigma-\Delta u-\Delta u_1}^{m\sigma-\Delta u} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} dy$$

よって $n' = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{m\sigma-\Delta u-\Delta u_1}^{m\sigma} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} dy \quad (3)$

Δu₁: 接触の式より導かれるくいこみ深さ、突起面と一様平面との接触により突起面の減少が生ずるがその際の削り取られた断面積は

$$A = \sum_{i=1}^n \Delta a_i \Delta u_i$$

$$\div \frac{P}{T} \Delta u \frac{m\sigma - (m\sigma - \Delta u)}{2} \cdot \alpha F(m\sigma)'$$

$$= \frac{P}{2T} \Delta u^2 \alpha F(m\sigma)'$$

$$= \frac{P}{2T} \Delta u^2 \frac{\alpha}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{m\sigma-\Delta u}^{m\sigma} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} dy \quad (4)$$

全損失体積Vは

$$V = \frac{P}{2T} \Delta u^2 \cdot \alpha F(m\sigma)' \cdot \pi(2r + 2T - \Delta u)$$

r ≫ u より

$$V = \frac{2\pi(r+T)}{2T} \Delta u^2 \cdot \alpha F(m\sigma)' \quad (5)$$

Δa_i, Δu_i: 任意の回転数に於ける接触面積とくいこみ量

T: 平均高さ

r: 試験片の半径

3. 実験結果及び考察

3.1 摩耗量

図2及び図3に乾燥、潤滑による摩耗量を示す。図よ

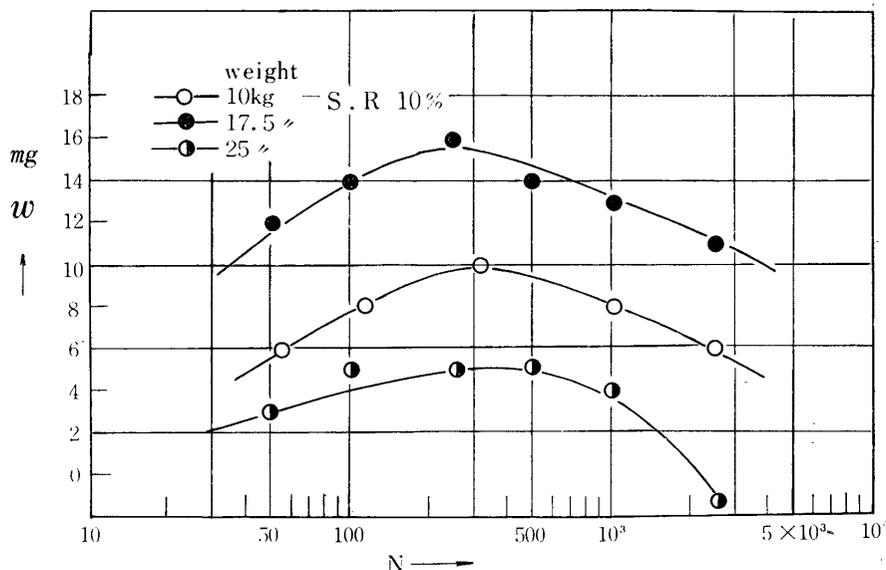


Fig. 2 The relation between abrasive quantity and the number of revolution on the occasion of a dry condition.

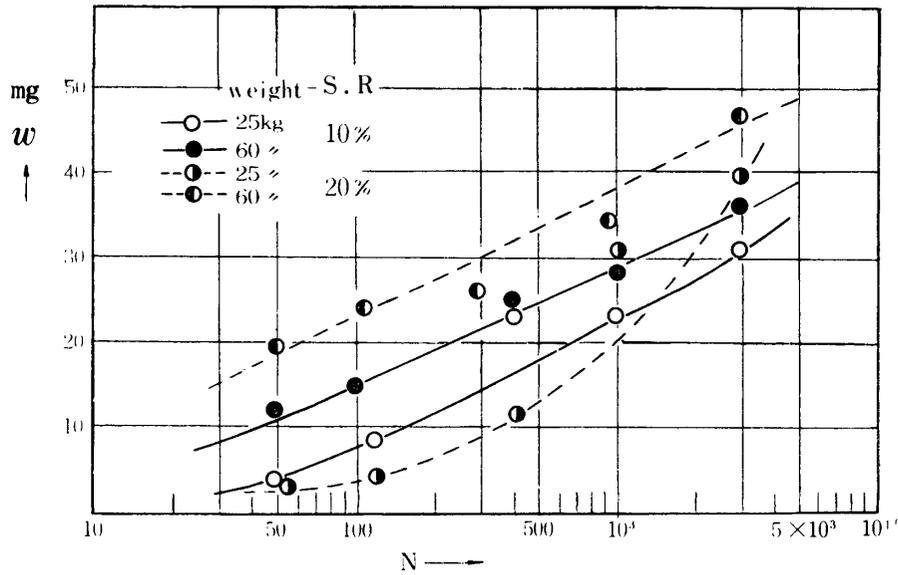


Fig. 3 The relation between abrasive quantity and the number of revolution on the occasion of a lubricating condition.

り乾式の場合 3×10^3 回転位まで対数比例的増加を示すがその後摩耗量は低下する。この事は接触面積が小さい為に高い接触圧となり上部試験片に表面損傷を招く結果となり下部試験片に凝着したと考えられる。

表面の損傷を生じさせない為には接触圧は $20\text{kg}/\text{mm}^2$ 以下にする必要がある。しかし本実験に於いては低い接触圧では表面突起の状態及び摩耗量は推定できないので高い接触圧で行なったわけである。

潤滑の場合は表面損傷を生じないので摩耗量が途中から低下することはない。相対滑り率20%荷重25kgに於いて他より低く曲線的になっているのは、表面アラサの不

均一性が影響してなったと考えられる。摩耗量の増加は回転数に対し対数比例する事が明らかとなった。

3. 2 表面突起の減少

乾式の場合表面突起の減少割合が実験結果より規則性を持たず、バラツキが大きかった為に記載しなかった。減少量 Δu は摩耗量と同じく回転数に対し対数比例する。20%の場合 10^3 回転以後 Δu の減少が急に少くなるのは突起の先端部分が完全に押しつぶされたか、もしくは摩耗したかに原因している。

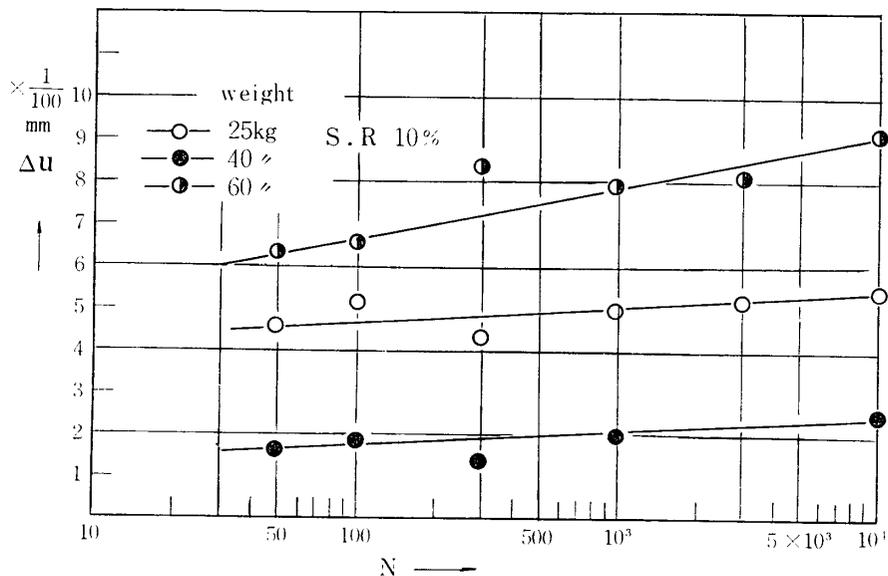


Fig. 4 The relation between the projective decreasing quantity and the number of revolution on an account of a lubricating condition.

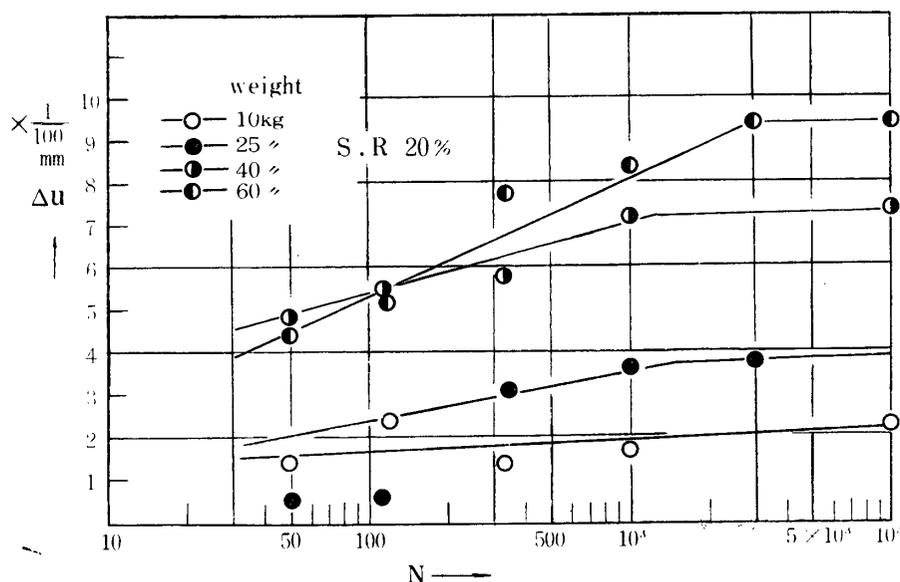


Fig. 5 The relation between the projective decreasing quantity and the number of revolution on an account of lubricating condition.

ここで回転数に対する表面突起の減少割合を解析すると、任意の回転数に於ける 1 回転当たりの減少面積 dA は

$$dA = \frac{W}{n'q} \Delta u \quad (6)$$

接触点を理想化して一様に接すると考えるなら、 N 回転後の微小減少面積は

$$\begin{aligned} dA_N &= \frac{P}{2T} \Delta u_N \cdot \Delta u_N + dA_{N-1} \\ &= \frac{P}{2T} \sum_{i=1}^N \Delta u_i \cdot \Delta u_N \end{aligned}$$

ここで $\sum_{i=1}^N \Delta u_i = u_N$ とおけるから

$$dA_N = \frac{P}{2T} u_N \cdot \Delta u_N \quad (7)$$

(注)ここで使用する Δu_i , u_N は前記の Δu とは異なり $\Delta u = u_N$ の関係である。

全損失面積量 $A_{N \text{ Tot}}$ は

$$\begin{aligned} A_{N \text{ Tot}} &= \int_0^N dA_N dN = \frac{P}{2T} \sum_{j=1}^N \left(\sum_{i=1}^N \Delta u_{ij} \cdot \Delta u_j \right) \\ &= \frac{P}{2T} \sum_{j=1}^N u_j \cdot \Delta u_j \quad (8) \end{aligned}$$

接触面圧と微小減少高さとの関係を $\Delta u_N = f(q)$ と仮定すると、面圧が常に一定なら

$$u_{N \text{ Tot}} = \int \Delta u dN = CN \text{ となる。}$$

$$\text{又 } q = \frac{dW}{dS} \doteq \frac{P}{2T} \sum_{i=1}^N \Delta u_i$$

であるから、面圧 q と減少高さとの積が常に一定となる故、1 回転当たりの減少面積を一定と考えると 8 式より

$$u_N^2 = \int_0^N u_N \cdot \Delta u_N dN = Nu_N \cdot \Delta u_N = K^2 N \quad (9)$$

則ち、 $u_N = k\sqrt{N}$

となる。

しかし一般には全摩擦量 w は $w = kW^n$ で表わすとつごうがよく実験結果とも合い、 w と u_N の関係についても Δu の減少が非常に小さい為に $w \propto u_N$ とすると

$$w = 2\pi r \cdot u_N P n$$

$$u_N = w P n / 2\pi r = P n k w_n / 2\pi r$$

実際は接触圧の減少が生ずる為に微小負荷の減少割合は前記の結果より $dw = c/\sqrt{N}$ で表わされる為

$$\begin{aligned} u_N &= \frac{Pn}{2\pi r} k_0 \left[c \int \frac{1}{\sqrt{N}} dN \right]^n \\ &= \frac{Pn}{\pi r} k_0 c^n N^{\frac{n}{2}} \quad (10) \end{aligned}$$

実験結果から $u_N = k \ln N$ と仮定すれば

$$k = u_N / \ln N$$

潤滑状態に於ける k は図 4、及び 5 より表 3 に示す。

任意の回転数に於ける $k \ln N$ と $kN^{\frac{n}{2}}$ の比較は表 4 に示す。表 3 から k の値は荷重に対し 1.5~2 倍の値を示している事がわかる。ただ全摩擦量が u_N に対し 2 乗に比例するが実験結果は u_N に対し対数比例する為にその差は負荷重量による押しつぶされによる減少と考えられる。

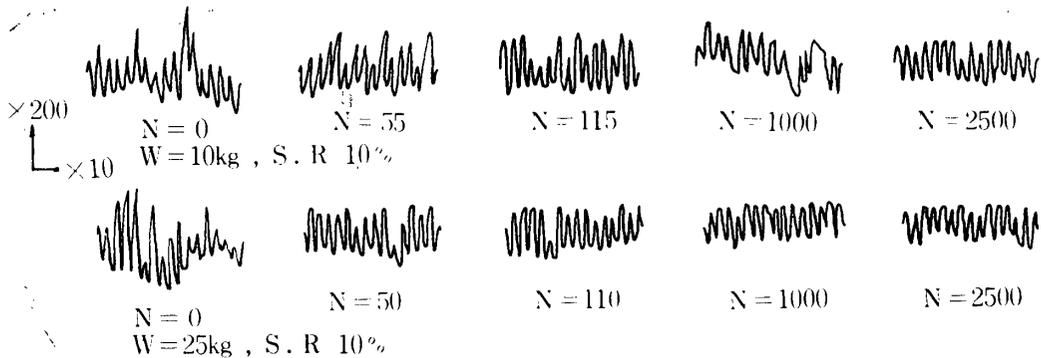


Fig. 6 Superficial roughness in the optical number of revolution under lubricating condition.

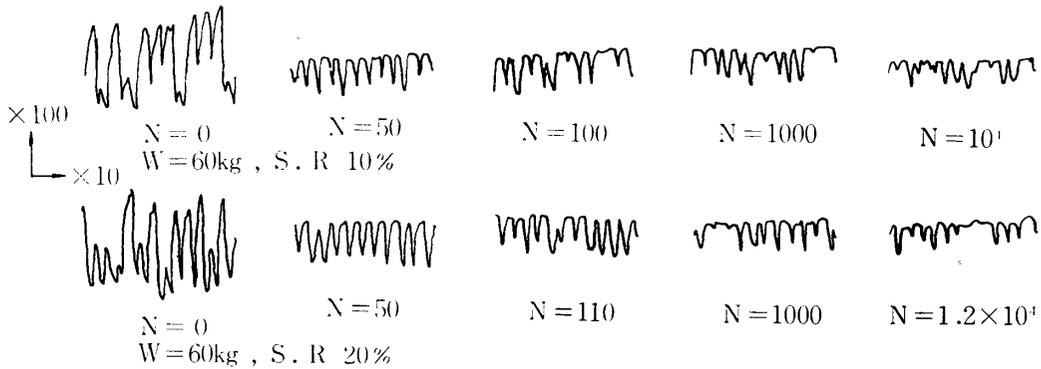


Fig. 7 Superficial roughness in the optical number of revolution under dry condition.

Table 3 K at the lubricating condition. (from the graph)

Wkg	10%	20%
10	—	1.39×10^{-3}
25	1.02×10^{-3}	$4.38 \times \text{〃}$
40	$2.04 \times \text{〃}$	$6.42 \times \text{〃}$
60	$3.94 \times \text{〃}$	$9.93 \times \text{〃}$

4. む す び

滑りをともなった凹凸面の接触機構を実験的に解析したことにより、その減少量、摩耗量について回転数に対する割合が明らかとなった。その結果を要約すると次のようになる。

1) 摩耗量の増加については対数比例をする。乾式の場合は途中凝着を生じ摩耗量が低下する。則ち、下部試験片は重量の増加が起る。

Table 4 The comparison of the experimental value and the theoretical value at optional revolution. a note, $n=1/2$

N	$k \ln N$	$kN^{\frac{n}{2}}$
10	4.70	3.63
50	7.98	5.42
10^2	9.39	6.45
5×10^2	12.68	9.65
10^3	14.01	11.47
5×10^3	17.38	17.15
10^4	18.79	20.40

2) 凹凸面の減少も摩耗量と同じく対数比例するが、滑り率 20% の場合、 10^8 回転後より減少量は少くなる。減少量は荷重の増加に対し 1.5 ~ 2 倍位の割合である。

最後に測定機器に御便宜を頂いた本校森重修一氏に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 久門：固体仕上面の接触機構（第1報）機論
vol 35, 272 p. 861 (昭44-4)
- 2) 同（第2報）機論 vol 35, 272 p. 870
(昭44-4)
- 3) 同（第3報）機論 vol 35, 272 p. 880
(昭44-4)
- 4) 築添：寸法測定精度に及ぼす表面あらさの影響につ
いて（第1報）精機 vol 37, 4 p. 37
(昭46-4)
- 5) 同（第2報）精機 vol 37, 5 p. 38
(昭46-5)
- 6) 武士俣, 岩井：ナイロン6のころがり摩耗に関する
研究 機構論 p. 110 (昭46-6)
(昭和47年9月1日受理)