S111042

境界潤滑特性と表面性状パラメータの相関に関する解析*

佐々木 千明^{*1}, 坪井 涼^{*2}, 佐々木 信也^{*2}, 是永 敦^{*3}, 徳田 祐樹^{*4}Analysis for Correlation between Boundary Lubrication Property
and Surface Geometric ParametersChiaki SASAKI^{*1}, Ryo TSUBOI^{*2}, Shinya SASAKI^{*2}, Atsushi KORENAGA^{*3}, Yuki TOKUTA^{*4}^{*1,*2} Tokyo University of Science Dept. of Mechanical Engineering
1-3-6, Nijuku, Katsushika-ku, Tokyo, 125-8585 Japan^{*3} National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 305-8564 Japan
1-2-1, Namiki, Tsukuba city, Ibaragi, Japan^{*4} Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute, 135-0064 Japan
2-4-10, Ome, Koto-ku, Tokyo, Japan

In engineering fields, surface roughness parameters are widely used for mechanical designs. However, actual surfaces have many factors which we cannot express by using a single standard surface roughness parameter. There is strong demand to develop a geometry parameter which is applied to all surface conditions and to characterize tribological properties. In this study, effects of grooves with different pitches on the surface roughness parameters and the tribological properties were investigated based on an ideal surface whose roughness parameters are completely controlled. The grooves have various pitches, processed by ultra-precision cutting. A correlation between the tribological properties in boundary lubrication and the geometry parameter obtained by combining the standard surface roughness parameters were discussed. In results, the surface roughness parameter R_{sk} and R_{ku} showed high quadratic correlation (the correlation coefficient of 0.967 and 0.952). The geometric parameters $(R_q \times R_{sk})$ and $(R_{\lambda q} \times R_{ku})^{-1}$ showed high correlation with the friction coefficient (the correlation coefficient of -0.9794 and -0.9446).

Key Words : Tribology, Surface Roughness, Friction

1. 緒 言

機械加工された表面には、表面性状と呼ばれる微細な凹凸が存在し、表面性状は摺動特性に影響を与えることが知られている。要求される性能を表現するためには、表面形状の最適化が必要となる。しかし、境界潤滑下においては、摺動表面の幾何形状は常に変化し、また、表面性状に起因する摺動特性に及ぼす影響因子は、凝着挙動性、摩耗粉補足、油だまり効果など多岐に渡る。そのため、表面性状が摺動特性に与える影響を単純な物理モデルで説明することは困難であり、表面性状の最適化は経験則に依存している⁽¹⁾。

表面の幾何形状が摺動特性に及ぼす影響因子を調査するために、表面性状パラメータを用いて摺動特性を評価する試みがされている⁽²⁾。しかし、現在最も用いられている二次元の表面性状パラメータは、多様な形状要素から構成される複雑な表面を表現するには不十分である。また、摺動表面では多様な形状要素がお互いに複雑に作用し合って各々の物理現象を起こすと考えられるため、表面性状パラメータが摺動特性を定量的に評価することは困難である。

^{*1} 学生員, 東京理科大学大学院 工学研究科 (〒125-8585 東京都葛飾区新宿 6-3-1)^{*2} 正会員, 東京理科大学 (〒125-8585 東京都葛飾区新宿 6-3-1)^{*3} 正会員, 産業技術総合研究所 (〒305-8564 茨城県つくば市並木 1-2-1)^{*4} 正会員, 東京都立産業技術センター (〒135-0064 東京都江東区青海 2-4-10)

E-mail: s.sasaki@rs.tus.ac.jp

そこで筆者らは、複雑な形状をもつ実際の表面ではなく、ある表面性状パラメーターのみが異なる理想的な表面の摺動特性を調査することで、表面幾何形状パラメーターのみで摺動特性を表現することが可能であると考えた。先行研究では、レーザー微細加工を用い、図 1 に示すような同形状が異なる周期で並ぶいくつかの表面を創製し、その摺動特性と表面性状パラメーターの相関を調査した⁽²⁾。しかし、創製した形状は粗さに比べスケールが大きく、形状の周期性が不十分であったため、摺動特性と表面性状パラメーターとの明確な相関は得られなかった。この結果を踏まえ、本研究では、同形状を周期的に創製することが容易であり、レーザー加工に比べて粗さに近いスケールで加工が可能な、ダイヤモンドバイトを用いた精密切削技術に着目した。この加工技術を用いて表面に一方溝を付加した試験片を作製し、その表面の境界潤滑下での摺動特性を調べた。本報では、実験により得られた摺動特性と表面性状パラメーターの相関について検討した結果を報告する。

2. 実験

実験には図 2 に示すバウデン・レーベン型往復動試験機を用いた。試験条件を表 1 に示す。試験片は、試験前にアセトンとベンジンをを用いて超音波洗浄を行った。潤滑油は試験前に摺動面に PAO4 (Poly-Alpha-Olefin) を 50 μl 滴下した。摺動方向は溝に対して垂直とし、実験はディスク上の任意の点 3 か所にて行った。

試験片には、軸受鋼に無電解 Ni-P メッキを施したディスク ($\phi 24 \text{ mm} \times t 7.9 \text{ mm}$) と、硬質 Cr メッキを施したピン ($t 20 \text{ mm} \times \phi 8.0 \text{ mm}$) を用いた。ディスクは、メッキを施した後に、精密切削加工機 (NAGASE SNIC-300) を用いて、切り込み深さが一定で、切り込みピッチが異なる一方溝を付加した。作製した溝のピッチ及び深さをレーザー顕微鏡 (Olympus OLS3100) を用いて測定したものを表 2 に示す。表面性状パラメーターは触針式表面粗さ計 (SURFCOM SNIC-300) で測定した。粗さ測定は試験片上任意の 5 点で行い、測定方向は溝に対して垂直とした。

3. 結果

図 3 に、摺動回数に対する摩擦係数の代表的な推移を示す。ピッチが 7 μm , 10 μm の試験片の摩擦係数は、摺動初期の値が大きいものの、なじみ過程を経て低くなる様子が見られた。

摺動回数が 300 回から 500 回における摩擦係数の平均とパラメーター R_{sk} , R_{ku} , R_a の関係を図 4 に示す。 R_a は工業的に最も用いられ、表面の凸凹の高さを表すパラメーターであるが、摩擦係数との 1 次相関係数、2 次相関

Fig. 1 Comparing between real surface and ideal surface

Table 1 Test conditions		
Normal load	[N]	5
Reciprocating stroke	[mm]	10
Reciprocating speed	[mm/s]	20 (repeats 5 times)
Reciprocating time	[cycles]	500
Waveform type		Triangle
Oil temperature	[°C]	30

Fig. 2 Bowden & Leben type sliding tester

Table 2 Pitch and Depth of grooves

Pitch [μm]	Depth [μm]
7.11	2.89
10.15	3.03
20.21	3.36
35.27	3.38
50.33	4.62
100.58	2.60

係数はそれぞれ 0.173, 0.193 となり、共に高い相関はみられなかった。一方、摺動特性と比較的關係があると言われる⁽³⁾ R_{sk} , R_{ku} の摩擦係数との 1 次相関係数はそれぞれ 0.720, -0.473 となり、ある程度の相関がみられた。 R_a は切り込み深さに強く影響を受けるパラメーターであり、 R_{sk} , R_{ku} は切り込みピッチに強く影響を受けるパラメーターである。このことから、今回の実験においては、ピッチ方向をあらわすパラメーターが摺動特性に影響を及ぼす因子として考えられる。また、 R_{sk} 及び R_{ku} の 2 次相関係数はそれぞれ 0.967, 0.952 となり、極めて高い相関がみられた。これらのことから、切り込みピッチは摩擦係数に極めて高い相関を示すが、その関係は線形ではないといえる。

さらに、表面性状パラメーターと摩擦係数の関係を調査するために、表面性状パラメーターを組み合わせ、新たな表面幾何形状パラメーターを作成し、摩擦係数との 1 次相関係数を算出した。図 5 は相関係数が高かった幾何形状パラメーター ($R_q \times R_{sk}$) 及び ($R_{sq} \times R_{ku}$)⁻¹ と、摩擦係数との相関を示したものである。これらの幾何形状パラメーターと摩擦係数の相関係数はそれぞれ、-0.972, -0.945 となり、極めて高い相関が見られた。 R_q は切り込み深さを表すパラメーターである。また、 R_{sq} は表面の凹凸の密度を表すパラメーターである。今回の実験においては、切り込み深さの加工誤差が摩擦係数に影響を与えたと考えられる。ここで得た二つの幾何形状パラメーターは、高い摩擦係数を発現する形状として同一傾向のものを示唆し、その形状は切り込みが深く、ピッチが大きいものである。

4. 結 言

一方向溝の表面形状を持つ摺動面を作製し、境界潤滑下での摩擦特性を調べた。パラメーター R_{sk} と R_{ku} は、切り込みピッチに影響を受けるパラメーターであり、摩擦係数に極めて高い 2 次の相関を示した。また、幾何形状パラメーター ($R_q \times R_{sk}$) 及び ($R_{sq} \times R_{ku}$)⁻¹ は摩擦係数と高い 1 次相関の相関がみられた。

文 献

- (1) 佐々木信也, “トライボロジー特性改善のための表面テクスチャリング”, 潤滑経済, Vol. 542, No. 10 (2010), pp. 2-7.
- (2) 山口一馬, 坪井涼, 佐々木信也, “境界潤滑下での表面粗さの周期が摩擦特性に及ぼす影響”, 日本トライボロジー学会トライボロジー会議予稿集, 東京, (2011-5), pp. 299-300.
- (3) Pradeep L. Menezesa, Kishore, Satish V. Kailasb, “Effect of surface roughness parameters and surface texture on friction and transfer layer formation in tin-steel tribo-system”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 208 (2008), pp. 372-382.
- (4) Sedlaček M., Podgornik B., Vižintin J., “Correlation between standard roughness parameters skewness and kurtosis and tribological behavior of contact surfaces”, *Tribology International*, Vol. 48 (2012), pp.102-112.

Fig. 3 Friction coefficient against times.

Fig. 4 Correlation between friction coefficient and R_a , R_{sk} , R_{ku} .

Fig. 5 Correlation between friction coefficient and geometric parameters.