2102 パターニング表面の摩擦特性に及ぼすディンプル間隔と深さの影響

Influence of Interval and Depth of Dimples of Patterning Surface on Friction Behavior

○ 正 宮島敏郎 (福井大)
正 岩井善郎 (福井大)

正 本田知己 (福井大)
正 新田 勇 (新潟大)

Toshiro MIYAJIMA, Tomomi HONDA, Yoshiro IWAI, University of Fukui, 3-9-1 Bunkyo, Fukui, 910-8507
Isami NITTA, Niigata University, 8050 Ikarashi 2-no-cho, Nishi-ku, Niigata, 950-2181

The patterning surface which formed the dimple at regular intervals was made by laser beam machining. Influence of interval and depth of dimples of the patterning surface on friction behavior at low sliding velocity was investigated by using the reciprocating friction tester in lubricated condition. As a result, it was found that the patterning surface consisted from shallow dimples and the dimple interval of 29 μm was the most effective for low friction behavior.

Key Words: Friction behavior, Laser processing, Surface patterning, Lubrication

1. 緒言

近年、微細精密加工用の小型工作機械のニーズが高まり、その案内面の運動精度向上が求められている。主に用いられている案内面の中でも、すべり案内面は耐荷重能力、振動減衰能がともに高く、設計・取り付けが容易でかつコストが低いことから広く用いられている^{1,2)}。しかし、すべり案内面は低速度時に摩擦力が大きくなるため、位置決め精度が低下するという問題がある²⁾。その問題を解決するためにすべり案内面の摩擦力を小さくする方法として、案内面に微細な溝やディンプル等（以下、パターニング）を形成する方法が考えられている^{3,4)}。

本研究では、YAG レーザ（355nm）加工機で表面に微細なディンプルをパターニング加工した試験片を用いて、低すべり速度時の摩擦係数とディンプルの間隔及び深さとの関係を明らかにする。

2. 試験方法及び供試材料

2.1 試験装置及び試験条件

摩擦試験には往復摩擦試験機を用いる。Fig.1 に試験装置の概要を、Table 1 に試験条件を示す。試験片は試験片固定ホルダに固形ワックスで接着された後、試験機にセットされる。その後、試験片を所定の荷重で押し付けながら潤滑下（試験開始前に潤滑油を 20 μl 滴下）にて往復摩擦させる。なお潤滑油には市販の工作機械潤滑油 VG32（動粘度 $\eta=57\text{mm}^2/\text{s}$ @24 $^{\circ}\text{C}$ ）と VG68（ $\eta=130\text{mm}^2/\text{s}$ @24 $^{\circ}\text{C}$ ）を使用した。

摩擦力は、試験片治具固定用ホルダを支持する左右 2 つのロードセルにより検出される。ロードセルにより検出された

電圧値は AD 変換器を介してパソコンに取り込まれ、摩擦係数に換算される。その摩擦係数を平均し、垂直荷重で除することで摩擦係数を求めた。また、1 回の試験での平均摩擦係数（以下、 μ ）は、試験開始時の潤滑油のぬれ性を考慮し、 μ が一定に推移する 21~25 往復の往路と復路のすべり速度が一定となる部分での動摩擦係数の平均値とした。

2.2 供試材料

試験片は超硬合金 K01（サイズ：9.53 × 9.53 × 3.20 mm）、相手材は超硬合金 K10（サイズ：30.0 × 50.0 × 5.00 mm）とした。また、試験片及び相手材は平行度と平面度を統一し、表面粗さを $Ra \leq 0.03 \mu\text{m}$, $Rz \leq 0.08 \mu\text{m}$ にした。

ディンプルは YAG レーザ加工機により規則正しく配列加工される。その際、ディンプルの周りにバリが生じたため、摩擦試験の相手面に # 1200, # 2400, # 4000 の研磨紙を貼り付けてバリを落とし所望のディンプル形状に仕上げた。

レーザ顕微鏡により観察した試験片表面の画像と、触針式粗さ計で計測した断面曲線の一例を Fig.2 に示す。

ディンプル間隔と μ の関係をみるために、ディンプルの平均直径 (Dia.) を 10~13 μm 、ディンプルの平均深さ (Dep.) を 3.2~4.0 μm に固定し、平均間隔 (Int.) を (a) 16.1 μm , (b) 29.1 μm , (c) 33.9 μm , (d) 56.0 μm の 4 種類パターニングした。

また、ディンプル深さと μ の関係をみるために、Dia. = 13~15 μm , Int. = 40~44 μm に固定し、ディンプルの平均深さ (Dep.) を 1.7, 3.1, 6.6 μm の 3 種類パターニングした。

Fig.1 Schema of experimental equipment

Table 1 Experimental conditions

Sliding velocity v , mm/min	15, 30, 60
Load P , N	10.2
Stroke, mm	15
Number of cycles	25
Environment	Lubrication 24 $\pm$ 1 $^{\circ}\text{C}$ (Room temp.)

Fig.2 Laser microscope images and cross-section profiles of the patterning surfaces (Interval of dimples)

3. 試験結果及び考察

3.1 μ に及ぼすディンプル間隔の影響

各すべり速度でのディンプル間隔 (Int.) に対する μ の変化を Fig.3(a)~(c) に示す。すべり速度 15 mm/min の場合、潤滑油の粘度にかかわらず、Int. = 16.1 μm では $\mu \geq 0.1$ と高いのに対し、Int. = 29.1 μm では $\mu \leq 0.005$ と低くなる。Int. = 33.9 μm では再び μ が上昇し、Int. = 56.0 μm では μ がさらに上昇する。すべり速度 30, 60 mm/min の場合も 15 mm/min と同様に、潤滑油の粘度にかかわらず、 μ は Int. = 29.1 μm で最も低くなる。

以上より、表面パターンングにおけるディンプル間隔には、最適値が存在し、本研究では潤滑油の粘度及びすべり速度によらず、Int. = 29.1 μm の時、 μ が最も低くなることが明らかになった。

μ の低減には接触二面間に介在する油膜が大きく影響する。ディンプルを施すことで、接触二面間の油はディンプル内に溜まり保持されやすくなる。一方、ディンプルを多く施すと、接触面積が減少し、油膜は切れやすくなるものと考えられる。そのため、 μ は Int. = 29.1 μm (ディンプル面積率: 15%) で最も低くなったと考えられる。

3.2 μ に及ぼすディンプル深さの影響

各すべり速度でのディンプル深さに対する μ の変化を Fig.4(a)~(c) に示す。各すべり速度において、潤滑油の粘度にかかわらず、ディンプル深さを深くすると μ は高くなる。すべり速度 15 mm/min の場合、潤滑油の粘度にかかわらず、Dep. = 1.7 μm では $\mu \leq 0.011$ と低いのに対し、ディンプル深さが深くなると μ は高くなる。すべり速度 30, 60 mm/min の場合、Dep. = 1.7 μm では $\mu \leq 0.004$ となり、 μ はディンプル

を施していない面より低くなる。一方、Dep. = 3.1, 6.6 μm と深くなると、 μ はディンプルを施していない面と同じ値が高くなる。

以上より、表面パターンングにおけるディンプル深さには、最適値が存在し、本研究では、潤滑油の粘度及びすべり速度によらず Dep. = 1.7 μm の時、 μ は最も低くなることがわかった。

Dep. = 1.7 μm では、ディンプルに溜まった潤滑油で油膜が形成されやすくなるため、 μ は低くなったと考えられる。一方、Dep. = 3.1, 6.6 μm 及びディンプルを付与していない面では、接触二面間で油膜が切れている部分が存在するために、 μ は高くなったと考えられる。今後、ディンプルがさらに浅い場合の μ の変化についても調査する。

4. 結言

- (1) ディンプルの平均直径を 10~13 μm 、ディンプルの平均深さを 3.2~4.0 μm に固定し、平均間隔を変化させた場合、平均間隔 29.1 μm で μ は最小となり、すべり速度によらずほぼ同じ値を示す。
- (2) ディンプルの平均直径を 13~15 μm 、平均間隔を 40~44 μm に固定し、ディンプルの平均深さを変化させた場合、深さが浅いほど μ は低くなる。

参考文献

- (1) 森脇俊道: NTN TECHNICAL REVIEW 74 (2006) p2-7
- (2) 社団法人 日本工作機械工業会: 工作機械の設計学 (基礎編) — マザーマシンを知るために — 平成 10 年 6 月
- (3) 是永ら: トリブロジー会議予稿集 (東京 2008-5) C23, p177-158
- (4) 小津ら: 日本機械学会論文集 C 編, 75 巻, 754 号 (2009-6) p1866-1871

Fig.3 Relationships between interval of dimples and coefficient of friction

Fig.4 Relationships between depth of dimples and coefficient of friction