W100×L25 마이크로 타원형 딩플패턴의 마찰특성

최원식[†] · 권순홍 · 정성원 · 권순구 · 박종민 · 김종순 · 채영훈*

부산대학교 바이오산업기계공학과

*경북대학교 기계공학과

Friction Characteristics of W100×L25 Micro Ellipse Type Pattern

Won-Sik Choi[†], Soon-Hong Kwon, Sung-Won Chung, Soon-Goo Kwon, Jong-Min Park,
Jong-Sun Kim, Dae-Young Park and Young-Hoon Chae*

Dept. of Bio Industrial Mechanical Engineering, Pusan National University

**Dept. of Mechanical Engineering, Kyungpook National University*

(Received March 15, 2012; Revised April 30, 2012; Accepted May 3, 2012)

Abstract – In this paper, we investigated the friction characteristics of W100×L25m ellipse type surface pattern, on bearing steel. These characteristics are researched by utilizing a pin-on-disk wear test machine, under various velocities and other conditions. The reduction of friction is a necessary requirement for the improved efficiency of industrial parts. As the speed increases, there is a decrease in the effect of the dimple of friction characteristic in low velocity, with substantially little change to density. Conversely, as the load increases, the test direction of ellipse type dimple pattern, resulting in a difference in the texture of these two components. At a dimple density of 7.5% the friction characteristic is easily demonstrated, with a consistent change in both speed and load.

Keywords – dimple pattern(딩플 형상), surface texturing(표면 무늬), friction characteristics(마찰 특성), ellipse type(타원 형태)

1. 서 론

트라이볼로지에서 마찰 저감법 중의 하나는 표면에 패턴을 주는 방법으로 1940년대부터 연구 되어 왔다 [1]. 한편 표면에 패턴을 넣는 방법으로는 화학적 및 기계적방법이 있으며 기계구조물의 마찰을 개선함으로써 패턴모드의 접촉면적을 조절할 수 있으며, 실리콘웨이퍼에 나노패턴을 넣어 미끄럼 접촉에서 마찰을 줄이기 시작하였다[2]. Surface texture의 기구는 패턴의 크기 즉 깊이와 크기 및 밀도에 의존하고 있으며[3], 마멸입자나 윤활유의 공급과유체역학적인 면에서 마찰감소와 아주 밀접한 관계가 있다. 최근 가공기술의 발달로 나노-마이크로 표면패턴의 가공기술은 날로 발전되고 있다. 특히 NT기술의 집목으로 수마이크로미터에서 수나

노마이크로미터까지의 초정밀가공이 가능해짐에 따라 기계부품의 품질향상 및 내구성의 향상에 대한 연구는 끈임 없이 행해지고 있는 실정이다. 표면패턴에 대한 마찰특성 연구는 다양하게 진행되고 있으며, 마찰에 영향을 미치는 패턴의 크기와 모양 등 설계인자에 대한 마찰저감 효과의 연구가 활발히 진행중에 있다[4-6]. 따라서 본 연구에서는 베어링강에 W100×L25 마이크로 타원형 딩플패턴을 밀도별로 제작하여 타원형의 방향에 따른 마찰저감 효과를 다양한 실험조건에서 연구하여 그 특성을 고찰하였다.

2. 시험편 및 시험방법

2-1. 시험편 및 시험방법

본 연구에 사용된 편 시험편은 베어링강으로 지름

[†]주저자 · 책임저자 : choi@pusan.ac.kr

Fig. 1. Test directions and the shape of the specimen for ellipse dimple pattern.

Fig. 2. SEM photo of the specimen for ellipse dimple pattern before test.

4 mm와 두께 2 mm의 크기와 원통모양의 형상에 W100×L25 마이크로 타원형 딤플패턴(Micro Ellipse Type Dimple Pattern)을 만들어서 실험하였다. 표면의 Dimple를 만드는 방법은 포토리소그래피(Photolithography)를 이용하여 습식에칭으로 준비하였다.

Fig. 1은 본 연구에 사용된 시험편의 타원형 딤플(Dimple) 모양의 긴 쪽을 W(100 μ m) 짧은 쪽을 L(25 μ m)로 표시하였으며, 마찰시험방향은 긴쪽으로 A 방향, 가장짧은쪽으로 B방향 그리고 대각선방향을 C로 정하여 실험을 행하였다.

Fig. 2는 시험편의 타원형 dimple pattern 모양을 SEM으로 밀도에 따른 형상을 보여주고 있다.

디스크의 재료는 베어링강으로 상대재료와 동일하게 준비 제작하였다. 지름 60 mm와 두께 5 mm로 가공하였다. 디스크의 표면조도는 폴리싱 후 0.039 mmRa를 되도록 가공하였다.

본 연구에서는 마찰특성을 평가하기 위하여 pin-on-disk 실험방법으로 상온, 상압 유효상태에서 Fig. 3과 같은 시험기를 사용하였다. 모든 데이터는 A/D convertor를 사용하여 컴퓨터에 저장될 수 있도록 하였으며, 실험은 수직하중별 5분간의 run-in을 수행한 후 본 실험 데이터로 추출하였다.

Fig. 3. Pin-on-Disk type testing system.

Table 1. Test conditions

Parameters	Condition
Contact type	Pin-on-Disk
Disk material	Bearing steel
Pin material	Bearing steel
Size of dimple for pin [μ m]	W100×L25
Density of dimple for pin [%]	7.5, 10, 12.5
Depth of dimple for pin [μ m]	2
Surface roughness	
- Pin before fabrication [μ m]	0.008Ra, 0.016Ra
- Disk [μ m]	0.039Ra, 0.052Ra
Diameter of pin	4 mm
Diameter of sliding track	40 mm
Normal load range [N]	20-100 N
Pressure range [MPa]	0.25-2.05
Speed range [m/s]	0.06-0.34
Lubricant	Paraffin oil
Temperature	Room temperature

Table 1은 실험조건을 나타내었으며 타원형 딤플패턴의 밀도는 7.5%, 10%와 12.5% 3가지를 준비하였으며, 마찰속도는 0.06 m/s에서 0.34 m/s까지 8단계로 속도를 증가시키면서 실험하였고, 하중은 20 N에서 100 N까지 5단계에 걸쳐서 실험하였다. 윤활제는 파라핀 오일을 사용으며, 마찰미끄럼 반경은 40mm로 하였으며, Fig. 3과 같은 Pin-On-Disk 형 마찰시험기를 사용하여 연구를 수행하였다.

3. 실험결과

3-1. 타원형 마이크로 Dimple의 하중 영향

Fig. 4 Friction coefficient as a function of velocity for 7.5% density of micro ellipse dimple in A-direction.

Fig. 6 Friction coefficient as a function of velocity for 7.5% density of micro ellipse dimple in C-direction.

Fig. 5 Friction coefficient as a function of velocity for 7.5% density of micro ellipse dimple in B-direction.

Fig. 7 Friction coefficient as a function of velocity for 10% density of micro ellipse dimple in A-direction.

Fig. 4는 하중에 따른 타원형 Micro Dimple의 밀도 7.5% 영향을 타원의 장방향 즉 A방향으로 마찰시험을 행한 결과, 하중에 따라서 나타낸 것으로서 속도가 낮은 영역에서는 속도증가에 따른 마찰계수가 전하중 영역에서 급격히 낮아지다가 속도가 0.2 m/sec 이상에서는 하중과 속도에 관계없이 거의 일정한 값 0.02 이하의 값을 나타내었다. 이는 딥플의 효과가 어느 속도 이상에서는 영향이 있음을 알 수 있었다.

Fig. 5는 마찰실험 방향을 Fig. 1에서 보는바와 같이 타원형의 짧은 쪽으로 실험을 행한 결과를 나타낸 것으로서 Fig. 4에 비해 속도가 낮은 영역에서 보다 안정적인 값을 나타내고 있으며, 속도와 함께 하중이 증가하면서 마찰계수는 0.02 이하로 아주 안정적인 값은 나타내고 있다. 이는 타원형 마이크로 딥플의 방향에 따른 마찰계수의 차이가 있음을 보여주고 있으면 장방향에 비해서 단방향의 마찰계수가 보다 낮게 나타남을 알 수 있었다. 또한 Fig. 6은 마찰실험을 Fig. 1에서

보는바와 같이 C방향에서의 마찰특성을 나타낸 것으로서 속도에 따른 각 하중에 대한 마찰계수는 크게 변동은 없으나 전반적으로 A, B에 비해서 다소 높은 값을 나타내었다. 특히 하중이 큰 60 N 이상에서는 마찰계수가 속도증가와 함께 전반적으로 0.02 이상을 나타내었다. 이는 밀도가 7.5%인 타원형 Dimple에서의 마찰계수 실험에서는 B 방향이 마찰특성이 가장 좋게 나타남을 알 수 있었다.

Fig. 7은 밀도가 10%일 때 A 방향에서의 마찰실험 결과로서 속도가 낮은 영역에서는 하중에 관계없이 모두 마찰계수가 0.02 이상으로 대단히 높게 나타났으며, 속도를 증가함에 따라 다소 감소하는 경향이 있으나 대체로 0.02 이상의 높은 값을 나타내고 있다.

Fig. 8은 밀도가 10%일 때 B 방향으로의 실험결과이며, A 방향에 비해서 속도가 증가함에 따라 마찰계수는 0.02 이하의 낮은 값을 나타내고 있다. Fig. 9는 밀도가 10%일 때 C 방향에서의 결과로서 A, B에 비

Fig. 8. Friction coefficient as a function of velocity for 10% density of micro ellipse dimple in B-direction.

Fig. 11. Friction coefficient as a function of velocity for 12.5% density of micro ellipse dimple in B-direction.

Fig. 9. Friction coefficient as a function of velocity for 10% density of micro ellipse dimple in C-direction.

Fig. 12. Friction coefficient as a function of velocity for 12.5% density of micro ellipse dimple in C-direction.

Fig. 10. Friction coefficient as a function of velocity for 12.5% density of micro ellipse dimple in A-direction.

해 가장 낮은 마찰계수 값을 나타내며, 초기속도 0.06 m/s를 제외하고는 하중에 무관하게 모든 값이 0.02 이하로 아주 좋은 마찰 값을 나타내었다.

Fig. 10은 밀도가 12.50%일 때 A 방향에서의 마찰

실험결과로서 속도가 0.10 m/s 에서는 하중크기에 따라 마찰계수도 커지는 경향이 있으나 속도를 증가시켜 0.25 m/s 이상이 되면 하중에 무관하게 거의 같은 마찰 계수를 나타내며 그 값은 0.01 이하를 나타낸다.

Fig. 11은 밀도가 10%일 때 B 방향으로의 실험결과이며, Fig. 12는 밀도가 10%일 때 C 방향에서의 결과로서 유사한 결과를 나타내고 있으나 A 에 비해 속도를 증가시키더라도 하중과 관계가 있음을 알 수 있었다.

3-2. 타원형 마이크로 Dimple의 Stribeck curve

윤활상태에 따른 메커니즘을 규명하기 위하여 Stribeck curve[4]를 사용한다, Stribeck curve는 마찰 계수와 무차원수를 사용해서 윤활상태를 구별하고 있다. 관계식을 표현하면 다음과 같다.

$$S = \frac{\mu VD}{L} \quad (1)$$

Fig. 13. Duty number for micro ellipse dimple.

여기서 S 는 무차원수, μ 는 마찰계수 [$N \cdot s/m^2$], V 는 미끄럼속도 [m/s], D 는 접촉지름 [m], L 은 수직하중 [N]이다.

Fig. 13은 마이크로 W100×L25 타원형 딥플레턴의 마찰실험에서 하중별 무차원수를 밀도에 따라 나타낸 것으로서 밀도가 7.5%인 경우 혼합윤활(mixed lubrication)을 나타내며, 10%와 12.5%는 경계윤활에서 유체윤활(hydrodynamic lubrication)로 이어지는 단계라고 볼 수 있으며 마찰계수는 0.02이하의 낮은 값을 나타내고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 베어링강에 W100×L25 마이크로 타원형 딥플레턴을 밀도별로 제작하여 하중과 속도를 변화시키면서 마찰방향에 따른 마찰실험을 방향에 따라 A, B, C로 다르게 하여 마찰실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 속도가 증가할수록, 딥플의 효과가 커지는 경향을 나타냈으며, 하중에 따른 타원형 딥플 효과는 마찰방향에 따라서 현저한 차이를 알 수 있었다.
2. Dimple 밀도가 7.5%에서는 Dimple 영향이 가장 작은 B방향이 마찰계수가 가장 크게 나타났으며, 45도 방향이 C방향의 마찰특성이 가장 양호하게 나타났다.
3. 마이크로 W100×L25 타원형 딥플밀도를 10% 12.5% 증가시킬수록 마찰계수가 양호하게 되었으며 Dimple 밀도를 증가시킬수록 실험방향의 영향이 거의 없음을 알 수 있었다.
4. 마이크로 W100×L25 타원형 딥플의 효과는 밀도가 증가함에 따라 윤활상태는 경계윤활에서 유체윤활로 이어지는 경향을 나타냄을 알 수 있었다.

후 기

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Lidia Galda, Pawel Pawlus, and Jaroslaw Sep, "Dimple Shape and Distribution Effect on Characteristics of Stribeck Curve," *Tribology International*, Vol. 42, pp.1505-1512, 2009.
2. Fanming Meng, Rui Zhou, Tiffany Davis, Jian Cao, Q.Jane Wang, Diann Hua, and Jordan Liu, "Study on Effect of Dimples on Friction of Parallel Surfaces Under Different Sliding Conditions," *Applied Surface Science*, Vol. 256, pp. 2863-2875, 2010.
3. Won Sik Choi, Young Hoon Chae, and Noritsugu Umehara, "Tribological Characteristics in 40 μm Dimple Pattern for Hexagonal Array," *Journal of the KSTLE*, Vol. 25, No. 1, pp. 25-30, 2009.
4. Sang Yul Lee, Sung Dae Kim, and Yeh Sun Hong, "Application of the Duplex TiN Coatings to Improve The Tribological Properties of Electro Hydrostatic Actuator Pump Parts," *Surface & Coating Technology*, Vol. 193, pp. 266-271, 2005.

5. Ronen, A., Etsion, I. and Kligerman, Y., "Friction-Reducing Surface Textureing in Reciprocating Automotive Components," *Tribology Transaction*, Vol. 44, No. 3, pp. 359-366, 2001.1.
6. Nakada, M., "Trends in Engine Technology and Tribology," *Tribology International*, Vol. 27, No. 1, pp. 3-8, 1994.