레이저 점선 패턴가공된 금속표면의 윤활조건에 따른 마찰특성에 관한 연구

정우영*, 김상호*, 한형욱*, 민준원*, 정원용**, 이명호*
*자동차부품연구원, **한국과학기술연구원

Study on friction characteristics according to lubrication condition of metal surface by laser dotted line pattern processing

Woo-young Chung*, Sang-Ho Kim*, Hyung-Wook Han*, Joon-Won Min*,
Won-Yong Jeung**, Meung-Ho Rhee*
*Korea Automotive Technology Institute, **Korea Institute Of Science and Technology

Abstract

A high speed laser texturing method that relies on laser scanner conditions, to form pattern shapes with micro-narrow surface detail such as dotted line features is demonstrated and analyzed. For example, this method may be used to piston ring and gear part for automotive. Data on friction characteristics of two laser patterns employed for STD61 steel will be shown. Comparison of pattern depths obtained by repetition overlapping process with laser scanner to the results on friction coefficient will be provide. It will be shown that friction characteristic in dotted line patterns can significantly depend upon interaction with the lubrication and laser pattern conditions. Laser pattern processing into a shallow depth provides only slight improvement in friction, while work into a deep shape indicates a significant improvement.

Keywords: Friction reduction, laser pattern processing, lubrication

1. 서 론

최근 세계적인 친환경 정책을 통하여 자동차 부품을 포함한 기계적 요소개발에서의 에너지 효율 향상을 위한 활발한 연구가 이루어지고 있다. 이러한 고효율 부품 개발을 위해서는 기계요소의 작동 시 마찰 에너지를 최소화하는 것이 중요하며 레이저를 이용한 texturing 가공기술 또한 최근에 많은 관심을 불러일으킨 연구 분야 중 하나이다.

마찰이 발생하는 접촉 부위에 레이저를 이용하여 생성되는 미세가공 형상은 윤활유 및 마모입자를 저장하는 역할을 함으로서 마찰계수 감소를 가져오며, 응착마모(adhesive wear)의 지표로서 갑작스런 표면 파괴로 인한 마찰 계수가 급격이 증가하는 현상인 스커핑(scuffing)에 대한 저항성 증가를 가져올 수 있는 것으로 알려져 있다.[1]

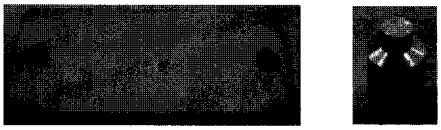
윤활 특성 향상을 위한 접동부 표면의 미세가공은 수 년 전부터 사용되어 왔지만 비접촉 가공법인 레이저를 이용한 표면 가공은 CNC가공과 같은 기계 가공법에 비해 정밀하고, 빠른 가공이 가능하여 사용의 편리성, 작업속도 및 가공성 면에서 다른 가공법보다 우수한 성능을 나타내었다. 특히 표면에 레이저를 조사했을 때 생성되는 고유한 미세 dimple 형상은 다른 어떤 가공법에서 얻을 수 없는 빠른 속도 및 원하는 형태로 가공이 가능하다.[2]

또한 레이저를 이용한 dimple의 깊이 및 넓이와 다양한 패턴 형상에 의해 마찰 특성이 향상된다는 연구결과가 보고되고 있으며 이미 국내외에 마찰특성을 개선을 목적으로 레이저를 이용하여 surface texturing에 대한 연구가 진행 중에 있다.[2,3] 본 연구에서는 레이저를 사용하여 금속표면에 점선 패턴 가공하여 각각 다른 4개의 윤활조건에서의 마찰특성을 분석하여, 마찰계수 저감효과를 확인하고, 내스커핑 특성이 가장 분명하게 나타나는 최적 윤활조건에 대하여 분석하였다.

2. 실험방법

2.1 패터닝 시편

본 연구에서 사용된 시편은 금형 공구강인 STD61강과 SM45C강을 사용하였다. 하부시편인 STD61강은 28mm × 38mm 크기에 SiC paper #2400로 연마한 후 표면에 레이저로 패턴 가공하였다. 패턴 가공 후 dimple 주위에 발생한 burr는 시편 표면에 거칠기를 증가시켜 마찰계수를 증가시키므로 polishing 실시 후 마찰시험을 실시하였다. Laser texturing 효과를 확인할 수 있는 pin on plate 방식으로 마찰실험을 진행하기 위해, 상부시편인 SM45C강의 접촉 면적이 직경 4mm를 갖도록 pin형태로 가공하였다.



(a) (b)

Fig. 1 Testing specimens: (a) Lower specimen, (b) Upper specimen.

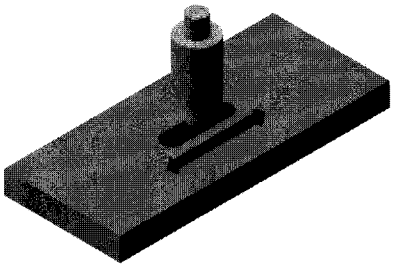


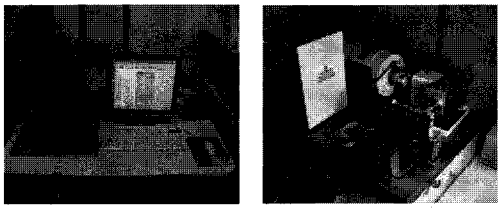
Fig. 2 Schematic diagram of Contact area.

2.2 실험장치

본 실험에 사용된 레이저장치는 single mode fiber laser source를 갖는 marking laser system을 사용하였다. 마찰 특성 분석을 위해 왕복형 마찰마모 시험기(TE77)가 이용되었으며, 상부시편과 하부시편의 마찰시험은 레이저 패터닝 처리의 효과를 확인하기 위하여 면접촉 방식으로 하였다. Fig. 3과 Table 1, 2에 실험에 사용한 장비 및 규격을 나타내었다.

2.3 실험조건

이번 실험에서 레이저 패턴 가공 시 사용된 변수는 Table 3과 같다.



(a) (b)

Fig. 3 Test Equipments: (a)Marking Laser System, (b) Friction Tester.

Table 1 Laser Specification

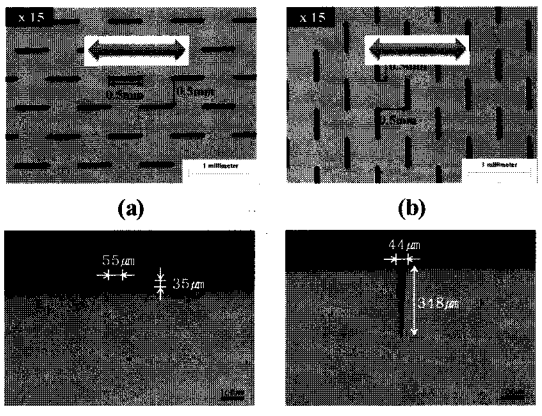
Model	YLP-20
Mode	Single
Energy/pulse (20kHz)	1mJ
Pulse Width	100ns
Pulse Repetition Rate	20-80kHz
Laser Type	Fiber Laser
Output Power	20W
Wave Length	1,064nm

Table 2 Friction Tester Specification

Load Range	5 to 1000N
Frequency Range	2.5 to 50Hz
Stroke Range	0.05 to 15mm

Table 3 Condition of Pattern Processing

Focal Length	175mm
Frequency	20kHz
Laser Power	20W
Scan Speed	0.1m/s



(a) (b)

(c) (d)

Fig. 4 Dotted line patterns by laser processing: (a) When the direction of the friction test is parallel to the patterns, (b) When the direction of the friction test is perpendicular to the patterns, (c) Cross section image of once processing, and (d) Cross section image of 20 times processing.

Fig. 4는 점선 패턴이 가공된 시편의 형상을 나타낸다. 점선 패턴가공은 laser를 이용하여 두 가지 형상을 가공하였다. 왕복 마찰 시험 방향과 수평방향을 갖는 점선과 수직방향을 갖는 점선을 가공하였고, 이때 점선 길이는 0.5mm, 점선간의 가로, 세로간격 0.5mm이다. 가공 시 스캐너 이동속도는 예비시험을 통하여 패턴가공에 최적화된 0.1m/s로 가공하였다.

패턴 깊이에 따른 마찰 특성을 관찰하기위하여 같은 패턴 형상에 대하여 반복적으로 레이저를 조사하여 깊이를 증가시켰다. 1회 가공했을 경우 가공된 점선의 깊이는 35μm, 폭 55μm이며, 20회 반복 가공했을 경우의 깊이는 348μm, 폭 44μm로 나타났다.

패턴의 깊이는 스캐너 이동속도를 일정속도로 반복가공함으로서 변화시킬 수 있다. 이때 반복가공함에 나타나는 폭의 감소는 패턴의 측면부가 용융되어 다시 채워지는 현상으로 인해, 패턴 표면부의 폭이 점차적으로 줄어드는 것으로 사료된다.

레이저 패턴 시편과 패턴처리되지 않은 시편인, base 시편간의 마찰특성과 각기 다른 윤활조건에서 패턴의 가공깊이에 따른 마찰특성을 분석하였다. 윤활조건은 Table 3과 같다.

Table 4 Lubrication Condition

No	Lubrication Condition	
1	Dry	unlubricated state
2	Wiping	after a drop of oil (8mg), wipe oil on friction surface
3	One drop of oil	on friction surface, a drop of oil (8mg)
4	Full lubrication	submerged in oil

Table 5 Condition of Friction Test

Frequency	10Hz
Stroke	10.8mm
Load	30-900N continuous load increase
Oil grade	5w40
Temperature	Room temperature
Test Time	20min

마찰시험조건은 Table 4와 같으며 최초 하중 30N에서 시간이 경과함에 따라 하중이 점진적으로 증가하여 900N이 도달하면 시험이 종료되도록 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

STD61강 표면에 레이저를 이용하여 사각형상의 패턴과 dimple을 가공하여 윤활조건에 따른 마찰특성을 살펴보았다.

3.1 점선 패턴가공에 따른 깊이별 마찰특성

Fig. 5는 건식상태에서의 마찰실험결과이며, base 시편과 패턴 가공된 시편 모두에서 실험시작 2분내에 초기하중구간인 30N 이하구간에서 스커핑현상이 나타났다. 이를 통해 건식상태에서의 패턴처리로 인한 저마찰 효과나 내스커핑성 향상 효과는 나타나지 않는 것을 확인할 수 있었으며 반복가공에 따른 깊이변화와도 무관함을 알 수 있었다.

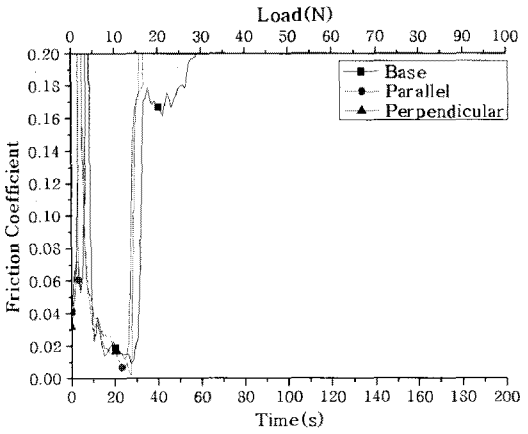


Fig. 5 Friction coefficient as a function of test time and load; dry condition.

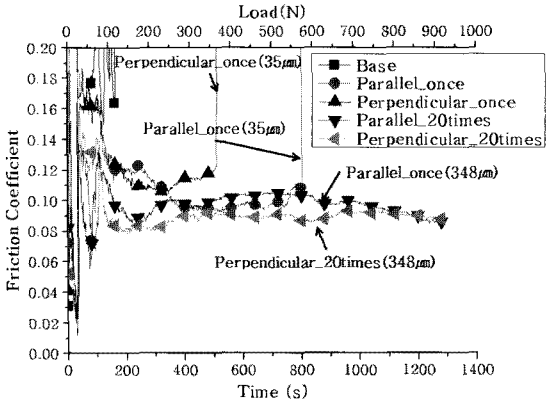
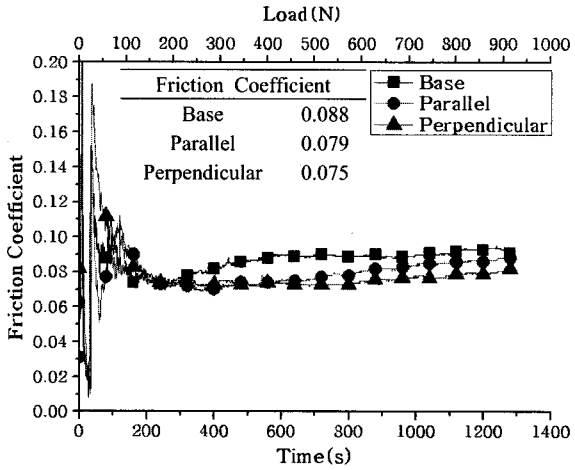
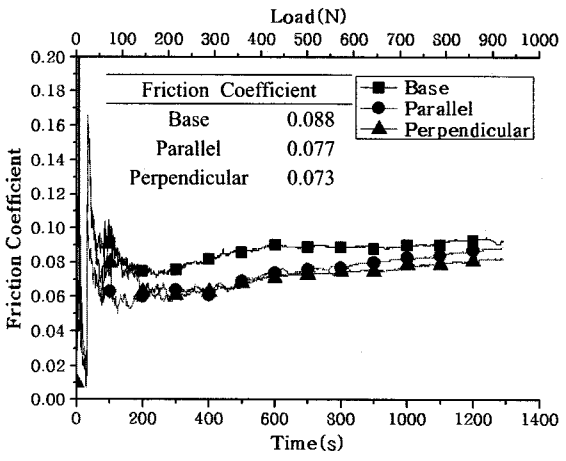


Fig. 6 Friction coefficient as a function of test time and load; wiping condition.

Fig. 6은 wiping 조건에서 실험한 결과이며, 1회 가공한 35μm 깊이 시편에서는 시간 및 load가 증가할수록 모든 시편에서 스커핑이 발생하였으다. 수평 패턴 시편에서 보다 높은 하중에서 스커핑이 발생하였으며, 스커핑현상 직전까지의 평균마찰계수는 수평 패턴 시편이 0.097, 수직 패턴 시편이 0.11로 나타나 수평 패턴 시편에서 가장 낮은 평균마찰계수 및 높은 내스커핑성을 확인할 수 있었다. 또한 20회 반복가공된 348μm 깊이의 시편에서는 900N까지 스커핑현상 없이 실험이 종료되었으며 패턴처리된 시편에서 모두 base시편보다 우수한 내스커핑성을 나타내었다. 이는 1회 가공된 시편과 다르게 실험결과 20회 반복 가공된 시편은 패턴의 가공깊이가 더 깊기 때문에 더 많은 오일을 담지함으로써 스커핑현상이 발생하지 않았으며, 왕복 마찰 시험시 패턴내의 오일을 보다 오래 함유함으로서 내스커핑이 향상된 것으로 사료된다.



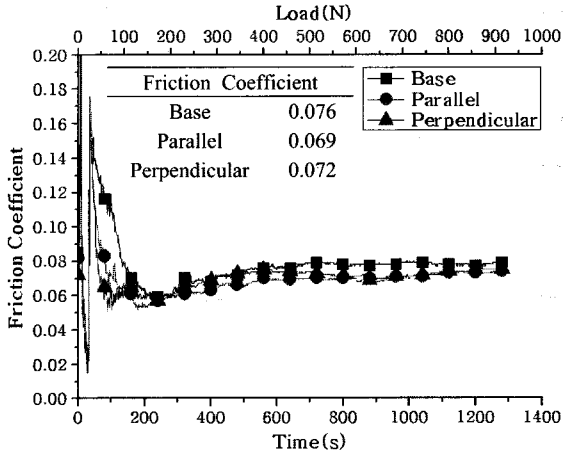
(a) 35μm Depth Processing



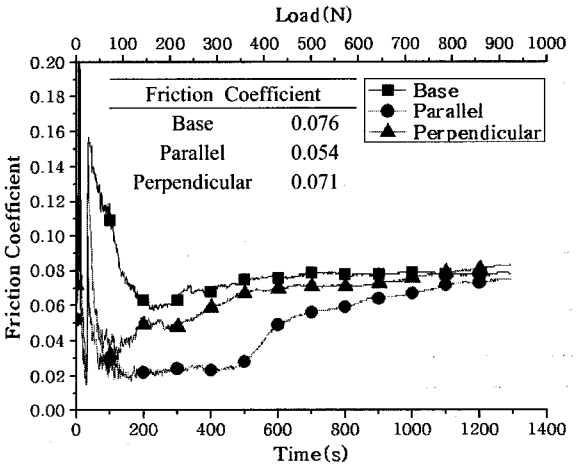
(b) 348μm Depth Processing

Fig. 7 Friction coefficient as a function of test time and load; condition of a drop of oil.

Fig. 7은 오일 한 방울(8mg)을 투여한 후 패턴 깊이별 마찰실험의 결과를 나타낸 것으로 패턴 여부 및 깊이에 무관하게 스커핑 현상은 발생하지 않았다. Base 시편 보다 패턴 가공 시편에서 마찰계수가 낮게 형성되었으며 반복 가공 시편에서 보다 낮은 마찰계수를 보였다. 이는 시편의 패턴깊이에 의한 오일 담지량의 영향으로 판단되며, 실험결과 패턴가공된 시편에서 base시편보다 낮은 마찰계수를 갖음으로서 저마찰효과를 확인할 수 있었으며, 8mg의 오일을 투여하는 윤활조건에서의 저마찰효과는 수평방향과, 수직방향 사이에 큰 차이를 보이지 않았지만 대체적으로 수직한 방향에 대하여 조금 더 낮은 평균마찰계수가 나타났다. 마찰시험종료 후 시편관찰결과 표면에 오일이 남아있었으며 표면과 패턴내 오일 함유 여부가 저마찰 특성을 갖는데 영향을 미치는 것으로 사료된다.



(a) 35μm Depth Processing



(b) 348μm Depth Processing

Fig. 8 Friction coefficient as a function of test time and load; condition of full lubrication.

Fig. 8은 시편이 오일에 완전히 잠긴 상태에서의 마찰실험결과를 나타내고 있다. 시편모두 스커핑현상은 발생하지 않았으며, 1회 가공된 base 시편에서 0.076, 수평 패턴 시편에서 0.069, 수직 패턴시편에서 0.072로 평균마찰계수가 나타났으며, 패턴가공된 시편이 base시편보다 낮은 마찰계수를 나타내며, 저마찰효과를 확인할 수 있었으나, 그 차이는 크지 않았다. 반면 20회 반복가공된 수평 패턴 시편에서는 마찰슬라이드 방향과 동일한 방향의 패턴에 의한 영향으로 사료되는 0.054의 낮은 평균마찰계수가 나타났다.

따라서 레이저를 이용한 점선 패턴가공에 의한 저마찰효과, 내스커핑성 효과는 건식조건에서의 마찰실험을 제외한 모든 윤활조건에서 나타났으며, 윤활유 공급 조건 중 가장 극한 조건인 표면상의 오일을 제거하는 조건에서 저마찰효과, 내스핑성 효과는 패턴가공되지 않은 시편에 비해 가장 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

윤활조건에 따른 마찰특성을 분석한 결과 패턴가공되지 않은 base시편과 패턴가공된 시편에서 모두 윤활유의 양이 많아짐에 따라 마찰계수가 낮아지는 것이 확인되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 레이저를 이용하여 가공된 점선 패턴과 각기 다른 패턴 깊이 및 윤활조건에서의 저마찰효과, 내스커핑성에 대한 실험적 연구를 진행하였으며, 그 결론은 다음과 같다.

1) 건식 마찰 실험에서는 레이저 패턴가공에 대한 저마찰, 내스커핑성 효과는 나타나지 않았다.
2) 표면 오일을 제거한 윤활조건에서는 패턴가공에 의한 마찰계수 감소 및 내스커핑성 향상을 확실히 확인하였으며 패턴 깊이가 증가할수록 그 특성은 증가하였다.
3) 오일이 증가된 윤활조건에도 레이저 패턴가공에 의한 저마찰효과를 확인하였다.
4) 레이저 점선 패턴 가공이 마찰특성 향상을 가져옴을 확인하였으며 패턴 내 오일 함유 능력과 밀접한 관련이 있는 것으로 사료된다.
5) 패턴 방향에 따른 마찰 특성은 윤활조건에 따라 그 효과가 상이하게 나타났으며, 이들 관계에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 지식경제부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1) Wan Yi, Xiong Dang-Sheng, "The effect of laser surface texturing on frictional performance of face seal," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 197, pp. 96-100, 2008.
2) Woo Young Chung, Sang Ho Kim, Hyung Wook Han, Joon Won Min, WonYong Jeung, Meung Ho Rhee, "Study on the Friction Characteristics of Laser Pattern Configuration," 한국윤활학회 추계학술대회, 2009.
3) Woo Young Chung, Joon Won Min, SangHo Kim, HyungWook Han, MeungHo Rhee, JongHo Song, WonYong Jeung, "Study on the Friction Characteristics of STD61 with Laser Texturing," 한국윤활학회 추계학술대회, 2008.
4) P. Andersson, J. Koskinen, s. Varjus, Y. Gerbig, h Haefke, S. Georgiou, B. Zhmudd, W. Buss, "Microlubrication effect by laser-textured steel surface," Wear 262, pp. 369-379, 2007.
5) G. Ryk, I. Etsion, "Testing piston rings with partial laser surface texturing for friction reduction," Wear 261, pp. 792-796, 2006.
6) I. Etsion, G. Halperin, E. Becker, "The effect of various surface treatments on piston pin scuffing resistance," Wear 261, pp. 785-791, 2006.