

## 고주파로 열처리된 스프링강의 마모특성

김민호\*(경희대 대학원 기계공학과), 이경엽, 백영남, 오택열(경희대 기계산업시스템), 홍재성(한국철도기술연구원 시스템인터페이스팀)

A study on the wear behavior of spring steel surface-treated by induction hardening method

M. H. Kim(Mecha. Eng. Graduate Sch., KHU), K. Y. Rhee, Y. N. Paik, T. Y. Oh (Mecha. & Industrial system Eng. Dept., KHU), J. S. Hong(Korea Railroad Research Institute)

### ABSTRACT

In this study, the tempering effect on the wear characteristics of induction-hardened SPS5 steel was investigated. For this purpose, three tempering conditions were applied to control the hardness of heat-treated SPS5 steel. Ball-on-disk wear tests have been performed using zirconia balls on the tempered specimens to determine the variation of wear characteristics. The results showed that friction coefficient decreased with increasing hardness for induction hardening conditions. This seems to occur because real contact area between specimen and mating ball was affected by the specimen hardness.

**Key Words :** Wear Rate(마모율), Induction Hardening(고주파열처리), Ball-on-Disk(볼온디스크)

### 1. 서론

많은 부품 요소로 구성된 기계들은 어떠한 식으로든 상대적인 마찰로 인한 마멸 현상을 보이게 되며, 이로 인하여 기계 정밀도 및 정확도의 감소, 원치 않는 소음 등이 발생하게 되어 결국 파손에 이르게 된다. 그런데 Archard 의 마모 이론[1]에 따르면 마찰력이란 하중이 표면을 수직으로 누르는 힘에 대한 저항력의 함수로 표시될 수 있으며, 즉 표층 경화 정도에 따라 마모 현상을 어느 정도 억제할 수 있다고 볼 수 있다. 따라서 금속 또는 비금속 부품에 있어 표면 강화를 위한 다양한 표면처리에 대한 연구가 이루어졌으며[2], 또한 표면강화 처리에 따른 마모특성을 규명하고자 하는 연구가 상당히 시도되었다[3-5]. 한편 고주파 열처리는 재료의 내부는 그대로 둔 채 표층의 일부만을 경화처리할 수 있으며 또한 공정이 간단하고 비용이 저렴해 최근 들어 다양한 금속재 표면강화에 폭넓게 많이 사용되고 있다. 본 연구에서는 철도차량 대차판의 마모특성 향상을 위한 기초연구로서 SPS5 강재에 대해 세 경우의 표면경도를 발생하기 위한 고주파 열처리를 수행하였다. 이후 마모시험을 통해 표면경도에 따른 각각의 마모특성 변화를 규명하였다

### 2. 실험방법

본 연구에서는 스프링강으로 많이 사용되고 있는 중탄소강인 SPS5 강을 시료로 사용하였으며, 상

대마모재로는 지르코니아( $ZrO_2$ ) 볼을 사용하여 Ball-on-Disk 방식으로 마모 실험을 수행하였다.

내부 조직을 고르게 하기 위해 노멀라이징을 거친 시료는 15KHz 의 유도 전류가 인가된 코일을 약 5 초간 통과시켜 850℃ 이상 가열되는 즉시 유냉시켜 약 5 mm 이상의 경화층이 형성될 수 있도록 하였다. 열처리로 경화층이 생성된 시편은 템퍼링을 통해 내부의 균질성을 도모하는 한편 3 단계의 표면경도를 가지도록 템퍼링 온도를 달리 적용하였다.

완성된 시료의 표면은 #2000 까지 사포로 연마하여 거칠기를 조정하였다. 이 때의 표면 거칠기는 약  $Ra = 0.2$  였다. 경도 시험은 약 980.7 mN 의 힘으로 콘 형상의 다이아몬드 압입자를 눌러 약 15 초간 지속하고 압입흔의 크기를 통해 경도를 측정하였다. 오차를 줄이기 위해 서로 다른 부위에 대해 3 회 이상 경도를 측정하여 그 값을 기록하였다.

마모 시험은 약 19.7N 의 수직 하중을 부과하고 회전 속도 150 rpm 을 적용하였다. 데이터는 매초당 샘플링되어 저장되었으며 시험에 사용된 주요 조건을 Table 1 에 나타내었다.

Table 1 마모 실험 조건

수직하중	회전속도		지속시간	마모거리
19.7N	150rpm	180mm/s	3hours	1.95km

### 3. 실험결과

고주파열처리 후 템퍼링 정도에 따라 로크웰 경도로 각각 45.4, 49.9, 62.8의 경도를 가진 시편을 얻을 수 있었다. 각 경도별 마모특성의 변화를 이해하기 위해, 원래 시편과 열처리를 거친 시편의 마모 특성을 알아보았으며 Fig. 1에 그 결과를 비교하여 보았다. 이는 각 경도별 마찰계수 측정 결과를 나타낸 것으로 마모 현상이 안정적으로 일어나는 영역인 약 8000초 이후의 결과를 정리한 것이다.

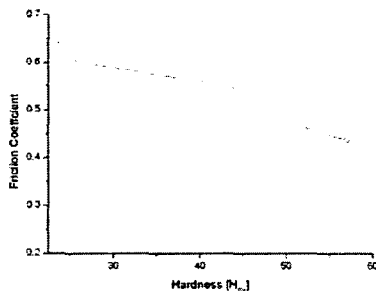


Fig. 1 경도별 마찰계수 비교

SPS5의 마찰계수는 경도에 따라 대략 0.45~0.6 정도를 기록하였다. 표면의 경도가 높을수록 마찰계수는 대체적으로 감소하는 추세를 보였으나, 경도가 높은 일부 시료에서는 취득 데이터의 분산 폭이 커지는 경향도 관측되었다. 이는 경화된 표면일수록 작용하는 하중에 대한 저항력이 크고 마모 작용이 어렵기 때문인 것으로 파악된다. 마모시험이 완료된 시편은 각각의 마모 깊이 결과를 가진 마모 흔적이 남게 된다. 이로부터 마찰 운동에 따른 시편의 체적 손실량을 계산할 수 있으며 Fig. 2에 나타내었다.

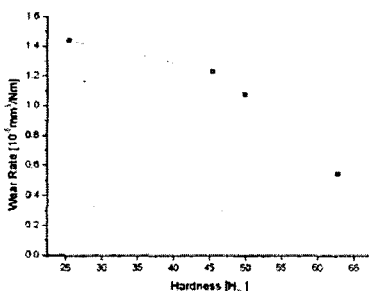


Fig. 2 경도별 마모율 비교

표면 경도 증가에 따라 plowing에 의한 마모 보다는 응착 및 연마 현상에 의한 마모 과정이 주로 관찰되었다. 이것은 열처리 과정 중에 탄소강에서 마르텐사이트+시멘타이트 조직의 발생량 차이에 의

해 경도가 결정되고, 그러한 단단한 조직이 마모 특성에 직접적인 영향을 주는 까닭으로 풀이된다. 이에 관한 금속 조직학적인 접근은 향후 진행되는 과정을 통해 규명해 보려 한다.

### 4. 결론

3가지의 각기 다른 열처리 정도를 지닌 SPS5강의 마모특성 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다

- 표면 경도의 증가에 따라 마찰 계수, 마모율 등은 감소하는 경향을 나타낸다. 아무 열처리도 하지 않은 시료는 고주파 열처리된 시편에 비해 약 64%정도 더 마모율이 높았다.

- 경도 증가에 따른 마모율 감소 경향은 열처리 후 생성되는 마르텐사이트와 같은 경질 조직의 함유 정도가 마모율 차이를 만들어 내기 때문인 것으로 추정되며, 다음 연구를 통해 규명코자 한다.

- 비교적 매우 높은 빈도로 경도가 높은 시편상에서 상대 마모재와의 응착 현상이 관찰되었다. 시편 상에 응착된 마모 입자는 마모 현상이 일정 패도상에 이르기 전까지 연속적인 마찰력의 진행을 방해하는 요소로 작용한다. 또한 이러한 과정으로 인해 마찰계수, 마모율 등은 전체적으로 감소하는 것으로 평가되었다.

### 후 기

본 연구는 한국철도기술연구원 '유지보수 성능 향상 기술지원 연구'과제의 지원을 받아 진행되었으며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Bhushan B., Gupta B.K., Handbook of Tribology, McGraw-Hill, New York, 1991.
2. Oh S. M., Kim J. K. and Rhee B. G., "Tribological Characteristics of Carbon Fiber Reinforced Plastics Prepared by Ion-Assisted Reaction", J. of the Korean Society of Precision Eng., Vol.21, No.4, pp.103-108, 2004
3. Na B. C. and Tanaka A., "Tribology Characteristics of DLC film Based on Hardness of Mating Materials", Thin Solid Films, Vol.478, No.1, pp.176-182, 2005
4. Anders S. et al, "Multiple layer hard carbon films with low wear rate", Surface & coating technology, Vol.91, No.1, pp.91-94, 1997
5. Izciler M and Tabur M., "Abrasive wear behavior of different case depth gas carburized AISI 8620 gear steel", Wear: An international journal on the science and technology of friction, lubrication and wear, Vol.260, No.1, pp.90-98, 2006