

소형시험편을 이용한 레일의 구름접촉피로메카니즘 분석 Analysis of rolling contact fatigue mechanism using twin-disc test on rail

*#서정원¹, 함영삼¹, 권석진¹, 이동형¹,
*#J.W.Seo(jwseo@krii.re.kr)¹, Y.S.Kwon¹, S.J.Kwon¹, D.H.Lee¹
¹ 한국철도기술연구원 차륜궤도연구실

Key words : Contact fatigue, Twin-disc test, Head check

1. 서론

레일 표면에서 발생하는 접촉피로손상인 Squat, Head check 등은 중요한 문제로 대두되고 있다^(1,2,3). Squats은 직선구간 및 반경이 큰 곡선구간에서 발생한다고 알려져 있으며 Head checks의 경우에는 곡선부의 High rail에서 반복적인 Plastic strain에 의해 주로 발생한다. 접촉표면에 발생된 피로균열은 하중조건 및 윤활조건에 따라서 성장하여 레일을 파단시킬수도 있고, 마찰계수 등이 커져 마모량이 많을 경우에는 발생된 균열이 마모에 의해 제거되기 때문에 더 이상 균열이 성장하지 않는다. 균열이 발생할 경우의 유지보수 방법으로는 레일 표면을 그라인딩에 의하여 제거하는 것이다. 그라인딩은 유지보수 비용을 급격히 증가시키기 때문에 최적의 그라인딩 주기와 깊이를 설정하는 것이 중요하다. 이를 위하여는 반복적인 구름접촉에 의해 레일에 발생하는 균열발생 및 진전 메카니즘의 이해가 중요하다. 본 논문에서는 윤활조건에 따라서 레일에 발생하는 피로균열 성장 메카니즘을 분석하기 위하여 시험편 접촉피로시험을 실시하였다.

2. 구름접촉피로시험

2.1 시험편 및 시험방법

Fig. 1은 시험편 채취 위치를 나타내고 있다. 그림에서와 같이 차륜 시험편은 차륜의 두부에서 채취하였고 레일의 경우에도 두부에서 채취하였다. 윤활조건에 따라서 접촉피로균열 발생 및 성장 메카니즘을 평가하기 위한 시험조건으로는 슬립율이 -1%, 하중의 크기는 접촉압력이 1100MPa이 되도록 하중을 부가하였다. 시험속도는 500 RPM으로 유지하였고 정해진 사이클에 도달하면 시험기를 멈추고 손상 거동을 조사하였다. 윤활이 없는 경우에는 공기를 접촉면에 직접 분사하여 마모입자를 제거하였고, 윤활이 있는 경우에는 물이 연속적

로 접촉면에 떨어지도록 하였다. Fig. 2는 시험을 위하여 사용된 구름접촉피로시험기에 시험편 장착 모습을 나타내고 있다.

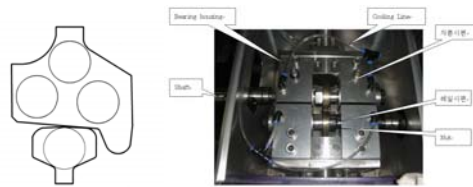


Fig. 1 시험편 채취위치

Fig. 2 시험편 장착모습

3. 구름접촉피로시험결과

3.1 윤활조건이 없는 경우

Fig. 3은 1×10^6 까지 시험한 시험편 표면으로써 표면전반적으로 미세한 표면손상이 관찰되었고, 일부표면에서는 길이가 0.25mm인 균열이 관찰되었다. 균열이 발생한 방향은 회전방향의 직각으로 발생하고 있다. Fig. 4는 5×10^5 까지 시험한 결과로써 최대 길이가 0.25mm인 균열이 시험편 전체에 발생하고 있다. Fig. 5는 1×10^6 까지 시험한 결과로써 일부에서는 0.5mm까지 균열이 성장한 경우도 있지만 대부분의 경우에는 0.25mm 이내에서 더 이상 성장을 하고 있지 않는다.

윤활조건이 없고 슬립율이 1% 일 경우에는 5×10^5 이후에는 시험편의 대부분에서 균열이 발생하고 있다. 그러나 일정 길이까지 균열이 성장한 후에는 마모에 의해서 더 이상 균열이 성장하지 않기 때문에 접촉표면이 떨어져 나가는 쉘링 등의 현상이 나타나지 않았다. 이는 슬립율이 커서 토크 및 마찰계수가 크게 작용하였기 때문에 마모가 많이 발생한다. 따라서 균열의 성장하는 깊이와 표면에서 마모가 되는 깊이가 계속적으로 균형을 이루기 때문에 더 이상 균열이 성장하지 않는다.



Fig. 3 1x10⁵ 후 표면



Fig. 4 5x10⁵ 후 표면



Fig. 5 1x10⁶ 후 표면

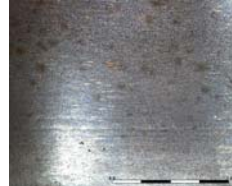


Fig.6 5x10⁵ 후 표면



Fig. 7 7x10⁵ 후 표면



Fig.8 8x10⁵ 후 표면



Fig. 9 1x10⁶ 후 표면

3.2 윤활조건이 있는 경우

Fig. 6은 5x10⁵까지 시험한 시험편 표면으로써 전반적으로 균열이 발생하지 않고 매끄러운 상태를 유지하고 있으나, 일부 부분에서는 균열이 발생하고 있다. 균열길이는 0.5 mm 이고, 균열이 발생한 방향은 회전방향의 직각으로 발생하고 있다.

Fig. 7은 7 x 10⁵까지 시험한 시험편 표면으로써 전반적으로 균열이 발생하고 있다. 발생된 미세한 균열들이 상호 결합되는 경우도 있으며 균열길이는 최대 1mm까지 발생하고 있다. Fig. 8은 8x10⁵까지 시험한 결과이다. 발생된 균열이 상호 결합되어서 2mm까지 균열이 성장하고 있으며 일부에서는 접촉면이 떨어져 나가는 쉘링 현상이 발생하고 있다. Fig. 9는 1x10⁶ 까지 시험한 결과로써 시험편 전체 부분에서 쉘링 현상이 발생하고 있다. 쉘링은 크기가 다양하게 발생하고 있고 길이는 1mm, 폭은 0.5mm 정도의 표면손상이 발생하고 있다. 윤활조건이 있고 슬립율이 -1 %일 경우에는 시험편의 대부분에서 균열이 발생하고 있고 균열이 성장하여 표면이 떨어져나가는 쉘링현상이 발생하고 있다. 윤활이 있는 경우에는 마찰계수가 윤활이 있는 경우보다 상대적으로 작기 때문에 마모량이 작다. 따라서 발생된 균열은 접촉압력에 의하여 지속적으로 성장하고 또한 유체 정수압 효과에 의하여 균열성장이 가속화되었으며, 최종적으로 접촉표면이 떨어져 나가는 쉘링현상이 발생하였다. 이러한 쉘링현상에 의해서 접촉표면상태가 거칠어졌기 때문에 토크 및 마찰계수가 7x10⁵이후에는 다시 증가하였다.

4. 결론

윤활조건에 따라서 레일에 발생하는 피로균열 성장 메카니즘을 분석하기 위하여 시험편 접촉피로시험을 실시하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 윤활조건이 없고 슬립율이 1 % 일 경우에는 5 x 10⁵ 이후에는 시험편의 대부분에서 균열이 발생하고 있다. 그러나 일정 길이까지 균열이 성장한 후에는 마모에 의해서 더 이상 균열이 성장하지 않기 때문에 접촉표면이 떨어져 나가는 쉘링 등의 현상이 나타나지 않았다.
2. 윤활조건이 있는 경우에는 대부분의 접촉표면에서 균열이 발생하였다. 발생된 균열은 접촉압력에 의하여 지속적으로 성장하고 또한 유체 정수압 효과에 의하여 균열성장이 가속화되었으며, 최종적으로 접촉표면이 떨어져 나가는 쉘링현상이 발생하였다.

후기

본 논문은 고속화 인터페이스 기반기술 개발의 일환으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. K. Kondo, K. Yoroizaka, Y. Sato:Wear, "Cause, increase, diagnosis, countermeasures and elimination of Shinkansen shelling" Wear 191, 199-203, 1996.
2. UIC leaflet 712, 2002, "Rail defects"
3. D. F. Cannon, H. Pradier, "Rail rolling contact fatigue Research by the European Rail Research Institute" , Wear 191, 1 - 13, 1996.