

질화 및 나노스킨 처리된 열간 다이스강의 구름접촉피로 특성 평가

Evaluation of Rolling Contact Fatigue Performance of Nitrided and Nanoskined Hot Working Steel

*홍기배¹, #편영식², 유대식³, 김준형², 부텐바야르 엔흐바야르²

*K. B. Hong¹, #Y. S. Pyun(pyoun@sunmoon.ac.kr)², D. S. Yoo³, J. H. Kim², E. Butenbayar²
¹한국교통대학교 에너지시스템공학과, ²선문대학교 기계공학과, ³선문대학교 산학협력단

Key words : STD61, Nitriding, Nanoskin technology, Rolling Contact Fatigue(RCF)

1. 서론

열간 단조는 재료를 재결정 온도 이상으로 가열하여 실시하는 것으로 온간 단조 또는 냉간 단조에 비하여 정밀도는 낮지만, 제작비가 저렴하고 단조품의 형상에 대한 제약이 적어 일반적으로 많이 사용되는 단조 방법이다. 재료 변형에 많은 에너지를 필요로 하는 형단조 또는 링단조가 상기의 열간 단조 공법으로 수행되며 STD61과 같은 열간 다이스강으로 이루어진 특수 금형을 사용하게 된다. STD61과 같은 열간 다이스강은 기본적으로 우수한 고온강도, 높은 인성, 높은 내연화 저항성 및 내마모성 등이 요구되지만, 고온 작업으로 인한 금형 마모가 쉽게 발생되어 표면경화처리와 같은 후처리를 수행하고 있다. 대표적인 예로 금형 표면에 질화처리를 하여 내마모성 및 피로강도를 높여 금형의 수명을 높여주는 것이다.

본 연구에서는 질화처리된 STD61 및 한국특허 기술인 나노스킨 기술 적용된 STD61의 구름접촉피로 특성을 비교하고자 한다.

2. 나노스킨 기술

나노스킨(초음파나노표면개질; Ultrasonic Nanocrystal Surface Modification) 기술은 초음파 진동 에너지를 응용하여 아주 큰 정적 및 동적 하중이 부가된 볼로써 1초에 20,000번 이상의 타격(1,000~100,000회/mm² 정도)을 금속 표면에 주어, SPD(Severe Plastic Deformation) 및 탄성변형을 발생시키고, 이로 인해 표층부의 조직을 나노결정 조직으로 개질함과 동시에 아주 크고 깊은 압축잔류응력 등을 부가하는 한국 특허기술이다.⁽¹⁻²⁾ Fig. 1는 나노스킨 기술의 기본 원리를 나타낸다. 나노스킨 장치의 구성은 진동자(20kHz 또는 40kHz),

부스터(Booster), 혼(Horn)으로 되어있고, 추가로 혼의 선단에는 볼(Ball)과 볼을 고정시켜주는 볼팁(Tip)이 위치해 있다. Table 1는 나노스킨 적용으로 얻게 되는 기계적 특성 및 기대 효과를 보여준다.

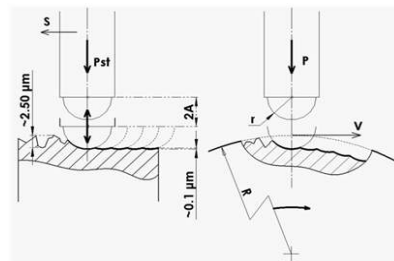


Fig. 1 Nanoskin technology basic mechanism

Table 1 The effects of Nanoskin treatment

나노스킨 적용으로 얻게 되는 기계적 특성	기대 효과
크고 깊은 압축잔류응력 - 1,000MPa 이상, - 깊이 2,000μm 이상	A. LCF/HCF 강도 향상 : Low / High Cycle Fatigue B. 구름접촉피로강도(RCF) 향상 C. SCC(Stress Corrosion Cracking) 강도 향상
미세홀(Micro dimples) - 면적 : 1~2μm ² , - 깊이 : sub micron, - 간격 : 수μm	A. 표면거칠기 향상 B. 마찰계수 저감 C. 마모율 저감
표면경도 향상 - 깊이 1,500μm 까지	A. 마모율 저감 B. LCF / HCF 강도 향상
나노결정구조 - 입자크기 50~200nm, - 깊이 100μm	A. 인장강도 및 경도 향상 B. 피로 강도 향상 C. 내 마모율 향상

3. 실험

구름접촉피로(Rolling Contact Fatigue) 시험을 위하여 시험편을 Table 2과 같이 제작하였으며,

이것은 ASTM G99 규격을 참고하여 선정하였다. 시험편 구분 및 각각의 표면거칠기 및 표면경도는 Table 3과 같다.

Table 2 Shape and size of STD61 specimen

형상		
크기	지름	50 mm
	두께	10 mm

Table 3 STD61 specimens

시험편 번호	시험편 구분	표면 거칠기	표면 경도
#1	Untreated	Ra 0.69~0.77 μ m	HRC51~52
#2	Nanoskined	Ra 0.21~0.25 μ m	HRC54~56
#3	Nitrided	Ra 1.03~1.26 μ m	HRC55~57
#4	Nitrided + Nanoskined	Ra 0.66~0.72 μ m	HRC55~58

구름접촉피로 시험을 위하여 Fig 2과 같이 본교(선문대)에서 제작한 다목적 마찰 / 마모 / 피로 시험기를 사용하였다. 본 시험기는 한국교정시험기관인정기구(KOLAS)의 인증기관인 R&B사의 Pin-on-Disk 분석과 시험기 전문업체인 CSM Instrument(Swiss)의 동일 시험편 비교 분석을 통해 검·교정되었다.⁽³⁾ 시험조건은 Table 4과 같다.



Fig. 2 Friction / Wear / RCF tester

Table 4 Test condition

형식	볼크기	접촉응력	회전속도	윤활조건
3 ball	7.14 mm	4.6 ~ 5.0 GPa	1,500 rpm	Oil bath

4. 결론

아래 Table 5과 같이 STD61의 구름접촉피로시험 결과를 획득하였다.

Table 5 Result of rolling contact fatigue test

시험편 구분	한계회전수 (피로수명)	파손유무
#1 : Untreated	206,000 cycle	Failure
#2 : Nanoskined	420,000 cycle	Failure
#3 : Nitrided	312,000 cycle	Failure
#4 : Nitrided + Nanoskined	456,000 cycle	Failure

상기 결과를 바탕으로 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 시험편#2의 RCF 수명은 시험편#1보다 약 2배 이상, 시험편#3보다는 약 1.34배 증가되었다.
- 시험편#2과 시험편#4의 RCF 수명은 유사하게 획득되었고, 이를 통해 Nanoskin 적용은 수명 향상에 효과가 있다고 예측할 수 있다.

추후, 각 시험편별 더 많은 RCF 시험을 통한 결과 획득(S-N curve)으로 시험 결과의 신뢰성을 확보할 것이고, 잔류응력 측정 및 표면 조직 분석을 통해 획득한 수명 데이터를 분석할 예정이다. 또한, 이를 바탕으로 STD61가 사용되어지는 실제 금형에 상기와 동일한 구분된 표면처리(#1~#4)를 적용하여 내구수명 비교 테스트를 추진할 예정이다.

참고문헌

1. Y, S, Pyun., C, M, Suh., T, Yamaguchi., J, S, Im., J, H, Kim., A, Amanov., J, H, Park., "Fatigue Characteristics of SAE52100 Steel via Ultrasonic Nanocrystal Surface Modification Technology," Journal of Nanoscience and Nanotechnology, **12**, 6089-6095, 2012.
2. Y, S, Pyun., J, H, Park., C, M, Suh., A, Amanov., J, H, Kim., "Friction and Wear Characteristics of SUS304 and SUS630 after Ultrasonic Nanocrystal Surface Modification," Advanced Materials Research, **275**, 174-177, 2011.
3. G, S, Choi., Y, S, Pyun., J, H, Kim., H, D, Kim., Y, Tominaga., S, Darisuren., "A Development of Multipurpose Testing Machine for Friction, Wear and Rolling Contact Fatigue," International Journal of Modern Physics, **6**, 534-539, 2012.