

쇼트피닝한 SCM22강의 피로 특성

신 용 승*, 정 성 교**, 서 유 원**

Fatigue Characteristics of SCM 22 Steel by Shot Peening

Young-Seung Shin*, Seong-Kyo Jeong**, Yu-Won Seo**

Abstract

The influence of shot peening on the fatigue strength of SCM22 steel is investigated in this work. The shot peening process is applied to the heat treated specimens. Then, basic material properties and residual stresses are evaluated for specimens.

Rotate bending and torsional fatigue tests are accomplished to investigate the effects of shot peening on the fatigue strength. Experimental results show that the fatigue life was increased tremendously by shot peening. The compressive residual stress, which is induced by shot peening process, seems to be an important factor of increasing the fatigue strength.

Keywords : Shot peening(쇼트피닝), Fatigue life(피로수명), Torsional fatigue life(비틀림 피로수명), Residual compressive stress(압축잔류응력).

1. 서론

과학기술의 발달과 더불어 금속재료는 보다 특별한 조건하에서 사용되며, 기계부품의 경량화가 점차 고조되어 가는 추세이다. 이러한 요구에 대처하기 위하여 기계부품의 용도 및 성능에 적합한 성질을 부여하면서 동시에 경제적, 시간적 비용을 최소화하는 방법으로 표면경화법이 많이 개발되고 있다. 표면경화법에는 침탄법, 질화법, 고주파 열처리법, 쇼트피닝 등이 있으며, 특히 쇼트피닝은

피로 강도 및 수명향상에 있어서 대단히 중요하다⁽¹⁾. 쇼트피닝에 대한 연구는 1940년대에 자동차, 항공기 등의 기계 분야에서 시작되었으며, 최근에는 피로강도를 최적화하는 쇼트피닝 조건을 찾을 목적으로 조건을 변경함으로써 얻어지는 결과의 차이에 대한 연구가 많이 진행되고 있다⁽²⁾⁽³⁾. 이 방법은 자동차용 부품인 스프링, 축류 그리고 기어 등의 고강도화에 많이 사용된다.

* 서울산업대학교 기계공학과

** 서울산업대학교 기계공학과 대학원

본 연구에서는 보통 기어 소재로 사용되고 있는 SCM22강에 쇼트피닝 가공한 후 인장시험 및 압축잔류응력을 측정하고 회전굽힘 피로시험과 비틀림 피로시험을 통하여 그에 따른 피로 특성을 고찰하였다.

2. 쇼트피닝

쇼트피닝은 작은 금속입자를 고속으로 금속표면에 충돌시키는 것으로, 투사기를 이탈한 쇼트볼은 큰 운동에너지를 가지고 금속표면을 강타한다. 이로 인한 재료의 표면은 항복점을 초과하여 영구변형을 일으킨다. 그 거동은 소성 변형에 의한 냉간 가공의 효과로 볼 수 있다⁽⁴⁾⁽⁵⁾.

피닝 강도(peening intensity)는 쇼트피닝의 정도를 나타내는 것으로 쇼트볼의 속도, 경도, 크기, 분사각, 무게 등에 따라 변화하며, 아크하이트(arc height)와 커버리지(coverage)로 표시되며 일반적으로 100% 커버리지에서의 아크하이트를 피닝 강도로 나타낸다.

금속표면에 쇼트피닝을 실시하면 쇼트볼이 분사된 면이 불룩하게 굽어진다. 이러한 굽어진 정도를 나타내는 것이 아크하이트이며 이는 "SAE" 규격에 의해 세계 공통적인 단위로 사용되고 있다. 아크하이트의 측정을 위해서 알멘 스트립(almen strip)이라는 강판이 이용되며, 이를 고정구(almen strip holder)에 고정시킨 후 피가공물에 부착시켜 실제 쇼트피닝을 실시하고 고정구에서 알멘스트립을 떼내어 아크하이트 게이지로써 측정한다. 알멘스트립은 피닝 강도에 따라 A, B, C strip으로 사용된다.

피닝강도의 측정방법으로는 피사체에 쇼트볼이 맞는 밀도, 즉 일정면적에 대한 쇼트볼 자국면적을 백분율로 표시하는 방법이 있다. 이때의 백분율을 커버리지(coverage)라 하며, 주어진 조건에서 쇼트볼 투사 노출시간의 함수가 된다. n회 통과후의 커버리지 C_n 은 1회 통과후의 커버리지 C_1 , 통과 횟수 n으로 정의되어지며 식 (1)과 같이 표현된다.

$$C_n = 1 - (1 - C_1)^n \quad (1)$$

위의 식으로서는 100% 커버리지가 한계이나 실제적으로 98%이상을 측정하기 어렵기 때문에 낮은 커버리지를 측정하여 위의 식으로 통과횟수를 결정한다⁽⁶⁾⁽⁷⁾.

쇼트볼의 속도, 경도, 분사각, 무게 등의 변수가 일정하면 쇼트볼의 크기가 증가함에 따라 아크하이트는 커지

고 커버리지는 감소한다. 어느 한정된 범위 안에서 쇼트볼의 크기의 변화는 피로수명에 큰 영향을 주지 않는다. 작은 쇼트볼에서 커버리지가 빨리 달성할 수 있는 점을 이용하여, 요구되는 아크하이트를 낼 수 있는 최소 쇼트볼크기를 보통 선택한다. 쇼트볼의 파쇄에 있어서 Watanabe, Hasegawa 등⁽⁸⁾과 Gillespie⁽⁹⁾는 쇼트피닝에 의한 압축잔류응력 형성의 변화를 알아보기 위해서 파쇄된 쇼트볼의 압축잔류응력 변화와 이에 따른 피로 수명관계를 연구하였다. 파쇄된 쇼트볼에 의한 쇼트피닝 가공은 양질의 쇼트피닝 가공에 비하여 피로수명 실험결과와는 산발적으로 안정된 데이터를 얻을 수 없다. 쇼트볼의 선별은 쇼트피닝 가공에 있어서 중요한 요인으로 강조 되어진다.

3. 실험

3.1 시험편

본 연구에 사용된 시험편의 재료는 SCM22강으로 재료의 화학적 성분은 Table 1 과 같다.

시험편은 CNC선반 및 밀링 가공후 열처리하였다. Fig. 1과 같이 920°C에서 CO₂ 침탄을 250분간 실시한 후 유중에서 담금질하였고, 180°C에서 150분간 뜨임을 하였다. 본 실험에 사용된 모든 시험편은 실제 기어가 갖는 침탄 깊이(1.0mm)로 침탄 처리되었다.

Table 1 Chemical composition (wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr
SCM22	0.13-0.18	0.15-0.35	0.60-0.85	0.03	0.03	0.90-1.2

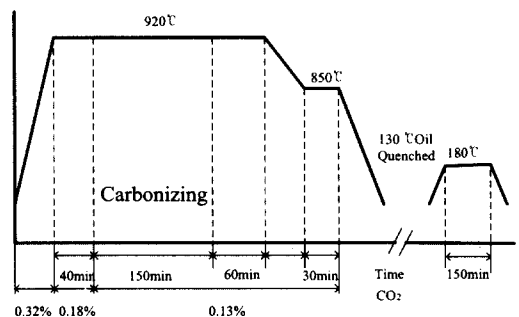


Fig. 1 Heat treatment condition of SCM22

Fig. 2와 같이 열처리한 시험편의 경우 실제 기어가 가지고 있는 경도의 분포와 같이 열처리를 수행하였기 때문에 표면에서 깊이 방향으로 들어가면서 경도가 감소하는 것을 보인다.

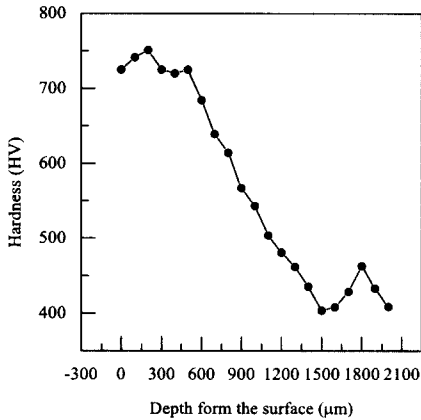
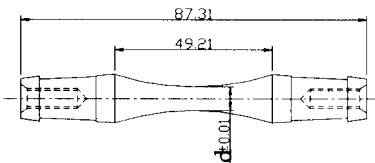
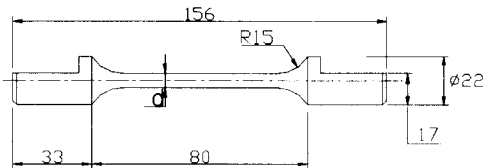


Fig. 2 Distributions of hardness

인장 시험편은 KS B 0801 14호 규격에 따라 제작하였고, 비틀림 피로시험편과 회전굽힘 시험편은 Fig. 3과 같이 제작하였다.



(a) Rotate bending fatigue test specimen



(b) Torsional fatigue test specimen

Fig. 3 The shape and dimensions of specimen

시험편은 열처리 시험편과 $\phi 0.8$ 쇼트볼로 쇼트피닝후 다시 $\phi 0.6$ 쇼트볼로 쇼트피닝한 시험편을 준비하였다. 쇼트피닝의 조건은 Table 2와 같다.

Table 2 Conditions of shot peening

	SCM22	
	Shot ball diameter	0.8mm
Impeller velocity	70m/sec	70m/sec
Time	3min	3min
Arc height(Almen A strip)	0.473mm	0.525mm

쇼트볼은 커트와이어(cut wire) KS D 3559 HSWR 72A를 사용하였으며 화학성분은 Table 3과 같다.

Table 3 Chemical composition of the shotball(wt %)

C	Mn	Si	P	S
0.69-0.76	0.30-0.9	0.15-0.35	0.03	0.03

3.2 잔류응력측정⁽¹⁰⁾

금속재료는 작은 결정체의 집합체이며 각 결정체는 조직적으로 배열된 원자로 구성되어 있다. 그러나 각각의 결정체는 불규칙한 방향을 갖고 있어 재료에 응력이 가해지면 그 재료의 탄성한계 내에서 응력의 크기에 비례하여 결정의 원자간 거리가 균일하게 벌어지던가 또는 줄어든다. 따라서 그와 같은 현상에 X-선을 입사시켜 회절되어 나오는 원자를 이용해 결정면간 폭을 측정하여 응력을 산출하는 것이 X-선 잔류응력 측정법이다. 쇼트피닝 가공한 시험편의 잔류응력은 X-선 회절법(X-ray diffraction)을 이용한 X-선 잔류응력 측정기(RIGAKU - MSF2M)를 사용하였다. 시험편의 깊이에 따른 잔류응력을 측정하기 위하여 전해연마기로 측정부위를 연마해가면서 측정하였으며 측정 조건은 Table 4와 같다.

Table 4 Measuring condition of residual stress

X-Ray Diffraction	Condition	
	X-Ray Source	Target
Voltage		30 kV
Current		10 mA
ψ	$0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$	
2θ	$140^\circ - 170^\circ$	
Diffraction	Scintillation counter	

3.3 인장시험

본 시험은 피로시험전에 기본물성치를 측정하기 위하여 인장시험을 실시하였다. 인장시험편은 부하방향이 압연방향에 평행하도록 채취하였다. 시험편의 최소 직경은 14mm이며, 인장시험은 각각의 재료를 ASTM E8의 규정에 의해 시험하였다.

3.4 피로시험

3.4.1 회전굽힘 피로시험

본 시험은 쇼트피닝 가공 후의 굽힘에 대한 피로수명의 변화를 관찰하기 위하여, 시험편의 최소 직경을 6mm로 하여 시험을 수행하였다. 피로시험기에 가해진 응력은 다음 식으로부터 계산된다.

$$\sigma = My/I = \frac{16PL}{\pi d^3} \quad (2)$$

여기서, σ 는 굽힘 응력, M 은 굽힘 모멘트, I 는 관성 모멘트, L 은 지지점에서 하중점까지의 거리, P 는 하중, d 는 시험편의 최소직경이다.

3.4.2 비틀림 피로시험

시험기는 TOHSI식 반복 비틀림/굽힘 피로시험기 (FTS-10)를 사용하였으며, 피로시험기에 의해 시험편에 가해질 비틀림응력은 시험편의 최소 반경 r , 토오크 T , 시험편의 극관성 모멘트 I_p 로 식 (3)과 같이 정의된다.

$$\tau = \frac{Tr}{I_p} = \frac{2T}{\pi r^3} \quad (3)$$

피로시험편에 가해지는 전단응력 τ (728 MPa)는 비틀림모멘트 T (30.9 N-m), 반경 r (0.003 m)에 의해 주어진다.

4. 결과 및 토의

4.1 인장시험

인장시험을 통하여 얻어진 시험편의 기본물성치 측정결과를 Table 5와 같다.

Table 5 Mechanical properties of specimen

SCM22	Yield strength (σ_y , MPa)	Tensile strength (σ_u , MPa)	Elongation (%)
unpeened	750	1166.3	2.7
shot peened	750	1225.1	2.0

열처리 시험편과 쇼트피닝 시험편을 강도적인 측면에서 비교하여 볼 때, 시험편의 물성치에는 큰 차이를 보이고 있지 않다.

4.2 잔류응력의 분포

Fig. 4는 SCM22강의 압축 잔류응력 분포를 나타낸다. 열처리를 수행한 후 쇼트피닝 가공한 결과 쇼트피닝 가공한 시험편의 경우에는 표면에서 -558MPa, 40 μ m 깊이에서 -1131MPa로 나타났다. 열처리 후 쇼트피닝 가공한 시험편의 경우에는 최대 압축 잔류응력이 상당히 증가함을 보였다.

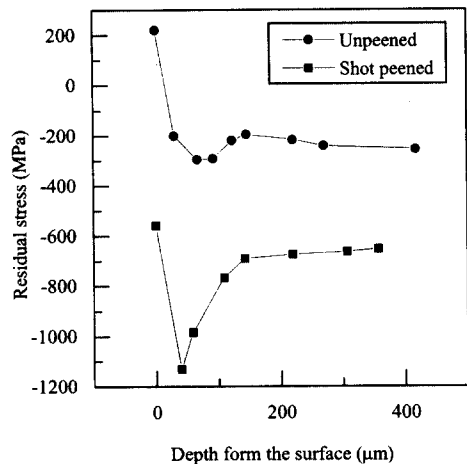


Fig. 4 Distributions of residual stress

4.3 쇼트피닝에 따른 피로특성의 향상

4.3.1 회전굽힘 피로시험 결과

Fig. 5와 같이 쇼트피닝 가공한 시험편은 열처리 시험

편에 비하여 현격한 피로 특성을 보이고 있다. 회전굽힘 피로시험 결과를 비교하여 보면, 쇼트피닝 가공한 시험편의 피로강도는 1271.6MPa, 열처리 후 침탄처리한 시험편은 927.0MPa로 열처리 시험편에 비해 피로강도가 130% 증가함을 보였다. 1387 MPa의 동일 굽힘응력에서의 쇼트피닝 가공한 시험편(4.3×10^4 cycle)은 열처리 시험편(6.3×10^3 cycle)에 비해 682.5%의 피로수명의 증가를 보였다.

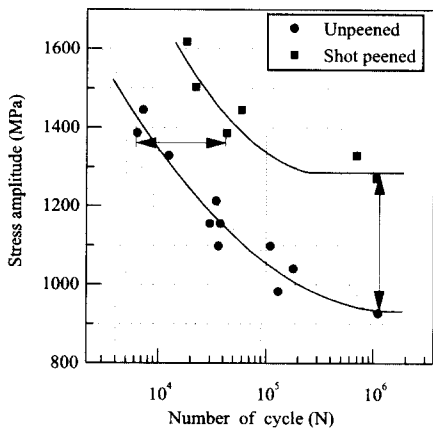


Fig. 5 Comparison of rotate bending fatigue life

4.3.2 비틀림 피로시험 결과

Fig. 6은 비틀림 피로 시험편을 일정한 응력(τ : 728MPa) 진폭 하에서 피로수명과의 관계를 나타낸다. 열처리 시험편의 평균 피로수명은 2.43×10^5 cycle, 쇼트피닝 가공한 시험편은 9.95×10^5 cycle로 나타났다. 쇼트피닝 가공한 시험편은 열처리 시험편에 비해 409.1%의 피로수명의 증가를 나타내었다.

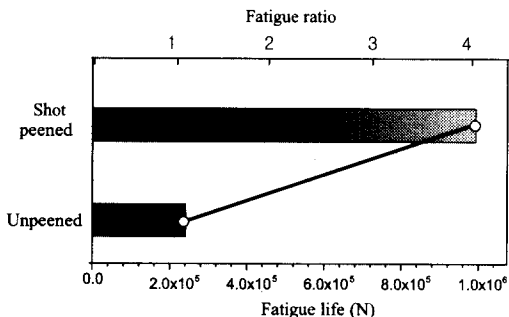


Fig. 6 Comparison of torsional life

5. 결론

본 실험에서 쇼트피닝 시험편에 대하여 압축잔류응력 생성에 따라 피로거동을 관찰하기 위하여 SCM22강을 사용하여 회전 굽힘 피로시험, 비틀림 피로시험에 따른 피로거동을 관찰하였다.

1. 압축잔류응력의 측정결과 각각의 시험편의 표면에서 열처리시험편과 쇼트피닝 가공 시험편의 측정치가 현격한 차이를 보이고 있다.
2. 회전 굽힘 피로시험 결과, 130%의 피로강도의 향상을 보였다. 1387 MPa의 같은 굽힘응력에서 쇼트피닝 가공한 시험편은 열처리 시험편에 비해 682.5%의 피로수명의 증가를 보였다.
3. 비틀림 피로시험 결과, 같은 비틀림 피로강도하에서 쇼트피닝 가공한 시험편은 열처리 시험편에 비해 409.1%의 피로수명이 증가 하였다.

후 기

이 논문은 서울산업대학교 교내 학술연구비에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

- (1) J. K. Xenophon, "Shot Peening Viable Method to Extending Component Life, : SAE Technical Paper Series 891932, pp. 1~8, 1989.
- (2) K. Yozo, T. Shinzaburo, and K. Masaki, "Effect of Shot Peening on Fatigue Strength of Ti-6Al-4V Alloy at Elevated Temperatures," Journal of The Society of Materials Science in Japanese, Vol. 45, No. 1, pp. 43~47, 1996.
- (3) 이승호, "고강도화를 위한 쇼트피닝이 피로강도에 미치는 영향", 한국공작기계학회 추계학술대회 논문집 pp. 322~323, 1997.
- (4) "Shot peening," Wheelabrator corporation, Indiana, 1965.
- (5) H. J. Plaster "Blast Cleaning and Allied

- Processes" Vol. II, 1973.
- (6) J.S.Ecketsley, "Shot Peening Process Controls Ensure Repeatable Results," Shot peening theory and application, IITT-international, pp. 133~142, 1990
- (7) Mark, Lawrenz. and Imants, Ekis., "Creating an In-House Shot Peening Specification for Gears," Heat Treating, Vol. 2, pp. 22~29, 1992.
- (8) Y. Watanabe, N. Hasegawa, K. Namiki, A. Hatano, "The Influence of broken shots on peening effect of hard shot peening." Proc. of the 4th International Conference on Shot Peening, Tokyo, pp. 63~72, 1990.
- (9) R.D. Gillespie, "Its Effect on Process Consistency and Resultant Improvement in Fatigue Characteristics," Proc. of the 5th International Conference on Shot Peening, Oxford, pp. 81~90, 1993.
- (10) X - ray Stress Analyzer Manual, Riraku, pp. 9~17, 1991.