

SCM420H 유성기어의 쇼트피닝 효과에 관한 연구

안인효 · 안민주* · 류성기***

한국폴리텍항공대학 · *한국폴리텍VII대학 · **경상대학교 기계항공공학부
(2010. 10. 4. 접수 / 2011. 1. 28. 채택)

A Study on the Effect of the Shot Peening in SCM420H Planetary Gear

Inhyo Ahn · Minju Ahn* · Sungki Lyu***

Korea Aviation Polytechnic

*Korea Polytechnic VII

**School of Mechanical & Aerospace Engineering, Gyeongsang National University

(Received October 4, 2010 / Accepted January 28, 2011)

Abstract : This study deals with the effect of the shot peening in SCM420H planetary gears. The hardness and roughness of the gear surface can be improved by shot blast and shot peening. there in, the shot peening techniques are welcomed especially as one of the physical surface improvement methods. The two treatments are used widely, because of the qualitative analysis of shot blast and shot peening has become possible and the surface treatment can be done with little costs compared with other surface improvement methods. Therefore, this study investigates the effects of shot blast and shot peening in surface shape. The fatigue strength test at a constant stress amplitude is performed by using an electrohydraulic serve-controlled pulsating tester. And fatigue test also explained characteristics of shot blast and shot peening of planetary gears.

Key Words : planetary gears, shot blast, shot peening, S-N curves

1. 서론

동력전달장치 요소 중 가장 중요한 기어는 언제부터 사용하였는지는 명확하지는 않지만 중국에서 기원전 26세기경에 자석을 이용하여 만든 '지남차', 기원전 6세기경에는 '사기어'라는 수차를 사용하였다고 알려져 있다. 아르키메데스의 저서에도 물을 끌어올리는 장치인 '아르키메데스의 나사'를 발명한 것으로도 유명하다. 기원 1세기 후반경에는 로마의 빅트로비우스가 기어 기구를 이용해서 제분장치를 만들어 사용하였으며, 15세기경에는 레오나르도 다빈치에 의하여 기어의 발전사에 중요한 성과를 가져오게 되었으며 현재에도 많이 사용되고 있다. 오늘날 기어의 대형화에 따른 고정밀, 저소음화, 고부하 능력의 효과상승 및 경제성을 감안하여 여러 가지 방안 중 이를 만족 시킬 수 있는 표면 경화 처리에 대한 연구가 필요하다. Wohlfahrt²⁾는 쇼트 피닝 후 잔류응력에 대한 연구에서 쇼트

피닝에 의한 압축잔류응력은 표면에서 최대값을 갖는 것이 아니라 표면 아래에서 최대값을 형성하며 최대 압축응력은 쇼트 피닝 조건에 따라 향상시킬 수 있다고 하였다. Xenophon³⁾의 연구에서는 재료의 중심부에서는 높은 인성을 유지하여, 피로하중을 받는 기계 구조물의 수명향상에 좋은 것으로 평가되고 있다. 동력전달용 유성기어에 침탄처리를 실시하면 표면경화층이 형성되고 표면과 심부의 냉각속도 차이에 의한 압축잔류응력이 발생된다. 이러한 표면경화층과 압축잔류응력은 파괴역학에 의한 쇼트피닝의 굽힘 피로강도향상에 효과적이다^{4,9)}.

본 연구에서는 실제 산업현장에서 가장 많이 이용하는 SCM420H 소재를 이용하였으며, 기어가공 공정은 산업현장에서 일반적으로 가장 많이 사용되는 호브 커터(hob cutter)와 셰이빙 커터(shaving cutter)를 이용하여 제작하였다. 또한 기어의 침탄열처리 후 쇼트블라스트와 쇼트피닝 처리를 각각 실시하였다. 이 두 가지 처리를 한 이유는 생산현장에서는 쇼트피닝과 쇼트블라스트를 구분 없이 무분별하게 사용하고 있기 때문이다. 따라서 이 각각의 처리방

* To whom correspondence should be addressed.
sklyu@gnu.ac.kr

법이 기어 치면의 경도, 조도 및 치형 변화와 Pitch error 등의 변화에 미치는 효과를 고찰하고 또한 전기-유압 서보 피로시험기로 급힘 피로시험을 통해 S-N곡선을 구하여 쇼트피닝이 기어의 이뿌리위 협단면에서의 피로강도에 미치는 영향을 고찰하고자 한다.

2. 시험기어의 자원 및 표면처리 조건

2.1. 시험기어의 자원

본 연구에 사용한 시험기어의 자원은 Table 1과 같으며, 이뿌리에서 X선 잔류응력측정이 가능하도록 모듈 $m=4.75$, 잇수 $z=27$ 를 선택하였고, 피로 시험기의 부하 능력을 고려하여 이폭 $b=13.58$ mm를 채택하였다. 시험기어의 재료는 KSD 규격의 SCM 420H를 사용하였으며, 그 화학적 조성비를 Table 2에 나타냈다. 재료의 성분 분석은 소재업체에 의뢰하여 분석을 하였다.

2.2. 시험기어의 가공공정과 열처리 조건

직경 150 mm의 SCM420H의 환봉을 $\varnothing 150$ 으로 절단하여 선반에 물려 1, 2차 선삭 후 호브 커터(hob cutter)와 셰이빙 커터(shaving cutter)를 사용하여 각각의 장비로 기어 가공을 한 후 930°에서 45분간 열처리 후 850°로 다시 가열 후 170°에서 소려 작업을 한다. 유효 침탄 깊이는 AGMA¹⁰⁾의 표준값을

Table 1. Dimension of test gear

Module (m)	4.75
Number of teeth (z)	27 T
Pressure angle (pa)	20°
Finish	Shaving
Gear grade	KS 4
Face width	13.58 (mm)
Tip diameter	$\varnothing 144.1$
Span gauge(4T)	52.07
Pitch circle	$\varnothing 128.25$
Over pin diameter	$\varnothing 144.830 \pm 0.1 (\varnothing 9)$
Material	SCM420H
Heat - treatment	Carburized

Table 2. Chemical composition of SCM420H (wt%)

SCM420H	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Mo	Cr
Range	0.17 ~ 0.23	0.15 ~ 0.35	0.55 ~ 0.90	0.30	0.30	0.30	0.25	0.85 ~ 1.25	0.15 ~ 0.35
Measured	0.21	0.24	0.83	0.011	0.012	0.11	0.08	1.15	0.16

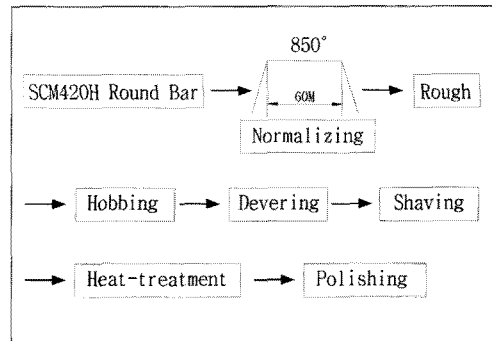


Fig. 1. Machining process of test gears.

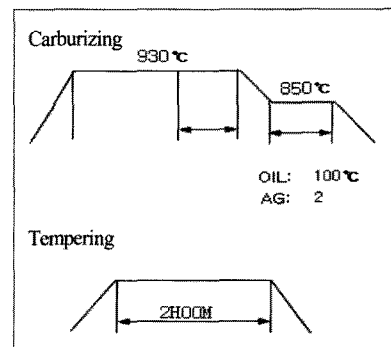


Fig. 2. Heat-treatment cycle.

Table 3. Test piece cord

Cord of gear	Surface treatment
CQ	Carburizing Quenching
CQB	Carburizing Quenching + Shot blast
CQP	Carburizing Quenching + Shot peening

참고하여 침탄처리를 하였으며 시험기어의 가공공정과 열처리 조건을 Fig. 1, 2에 각각 나타냈다.

본 연구에서는 쇼트피닝과 쇼트블라스트가 기어의 피로강도에 미치는 영향을 고찰하기 위해 각각의 처리 방법에 따른 시험 기어 기호를 Table 3과 같이 나타냈다.

Table 4. Surface treatment condition

	CQ	CQB	CQP
Condition	Carburizing Quenching	CQ+Shot +Blast	CQ+Shot peening
Shot ball diameter	X	$\varnothing 0.8$	$\varnothing 0.8$
Exposure time	X	30 min	7 min
Ball standard	X	S-280	SP-280
Projection speed	X	55 m/min	80 m/min
Coverage	X	$\leq 150\%$	$\leq 300\%$
Arc height	X	0.2 mm	0.5 mm

2.3. 시험기어의 쇼트블라스트와 쇼트피닝 조건

실험을 위하여 CQ, CQB, CQP의 3가지 시험기어를 준비하였으며, CQ 후 쇼트블라스트와 쇼트피닝 조건은 Table 4와 같다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 시험기어의 경도

본 연구에서 사용된 시험기어의 경도는 마이크로 비커스경도기(AKAISHI MVK-E)를 사용하여 측정하였다. 시험기어의 시편은 저석 커터로 절단하여 마운팅 한 후 폴리싱(polishing)과 래핑(lapping)을 실시하였으며, 측정부위는 기어의 마모나 절손이 많이 일어나는 PCD 부분에서 경도를 측정하였다. 경도 측정조건은 하중 300 gf, 지속시간 20초로 하였다. 시험편 5 EA의 표면경도를 측정하여 그 값을 Fig. 3에 나타냈다. CQ, CQB, CQP 시험편의 평균 경도값은 각각 740 Hv, 745 Hv, 765 Hv로 나타났다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 CQ보다 CQB는 약 4 Hv, CQP는 약 25 Hv 향상된 것으로 나타났다. 이는 CQB와 CQP에서의 가공경화 효과다. 유효침탄깊이는 경도값 550 Hv이 되는 지점의 깊이를 말하며 일반적으로 AGMA¹⁰⁾의 추천값을 참고하여 열처리하였다.

3.2. 시험기어의 조도측정

조도측정은 조도측정기(HOMMEL TEST T500)를 이용하였으며, 시험편 5 EA에 대한 각각의 CQ, CQB, CQP를 10점 평균거칠기(Rz), 최대높이 거칠기(Rmax), 중심선 평균거칠기(Ra)를 측정하여 Fig. 4에 나타냈다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 10점 평균거칠기를 기준으로 CQ보다 CQB는 약 17.4%, CQP는

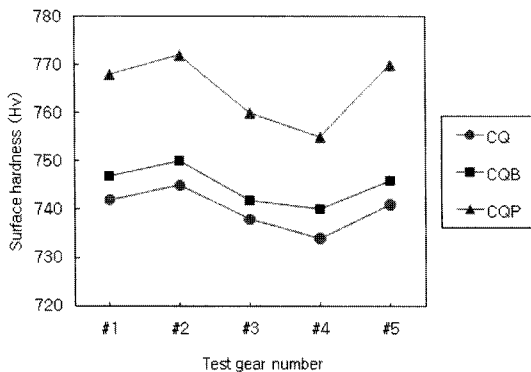
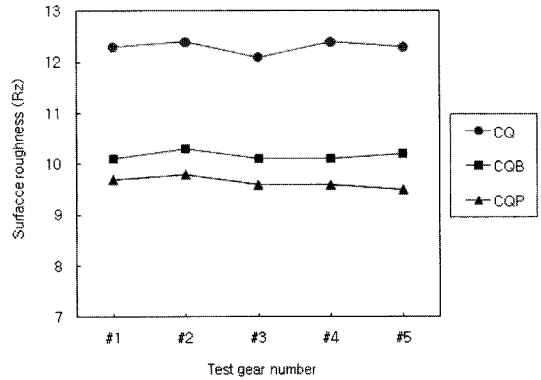
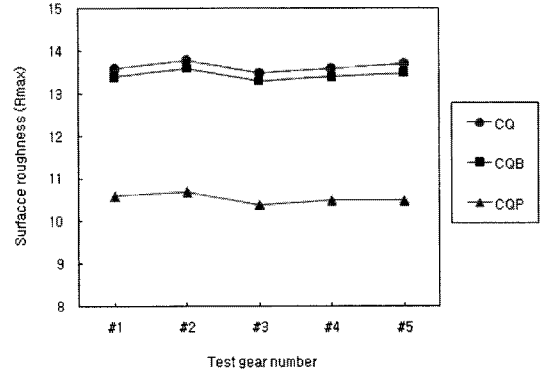


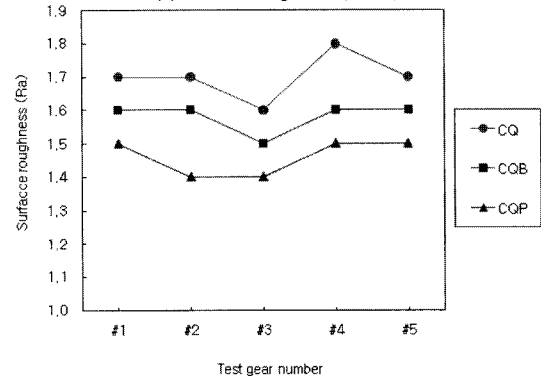
Fig. 3. Surface hardness distribution of test piece gear in PCD.



(a) Surface roughness (Rz)



(b) Surface roughness (Rmax)



(c) Surface roughness (Ra)

Fig. 4. Surface roughness of test piece gear.

약 21.6% 향상되었다. 이는 CQB와 CQP에 의한 burr 제거 및 가공경화 효과이다.

3.3. 시험기어의 피치측정

법선피치 측정법은 기준을 정하는 방법에 따라 회전 중심 기준, 이끝원 기준, 이뿌리원 기준의 3가지 방법이 있다. 이들은 일반적으로 측정을 쉽게 하기 위하여 측정기어의 중심에 대해서 일정한 원주상에 측정자를 고정해서 측정하는데 일반적으로

회전 중심 기준법이 많이 사용되며, 이것은 단일 피치오차, 인접 피치오차, 누적 피치오차로 나누어진다. 기어측과 동심인 피치원상에서 측정된 각 원 피치의 측정치와 이론치의 차이인 단일 피치, 서로 이웃하는 두 피치의 차이인 인접 피치, 기어와 동심인 피치원상에서 잰 임의의 수의 연달아 기록된 원피치 합 의 실제값과 이론값과의 차이인 누적피치가 있다. 그리고 이 흠의 흔들림(run-out)이란 것이 있으며. 이는 측정기어의 피치원 부근에 접촉되는 구슬(볼) 또는 핀의 측정자를 이 흠에 넣고 그 반경 방향의 위치를 측정하여 최대값으로 나타낸 것이다. 치형 측정기(CLP-65)로 각각의 CQ, CQB, CQP 를 측정할 피치에러를 Fig. 5에, run-out 값을 Fig. 6에 나타냈다. 피치에러의 경우 CQ를 기준으로 CQB는 약 30.4%, CQP는 약 46.5% 향상된 것으로 나타났다. CQ에서 피치에러가 아주 높게 나타나는 이유는 열처리 후 후처리를 하지 않고 측정을 하였기 때문에 burr 및 이물질이 붙어있어서 튀는 현상이 일어나기 때문이다. 따라서 열처리 후 후처리로 CQP가 효과적인 것을 확인 할 수 있었다. 흔들림

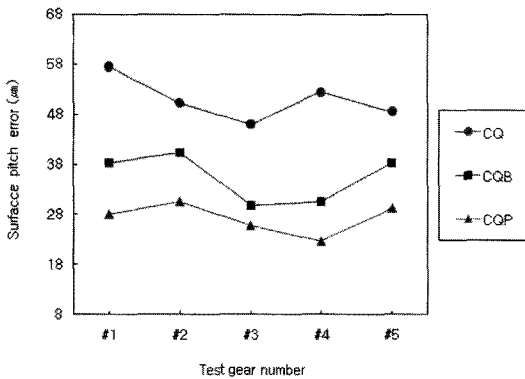


Fig. 5. Surface pitch error of test piece gear.

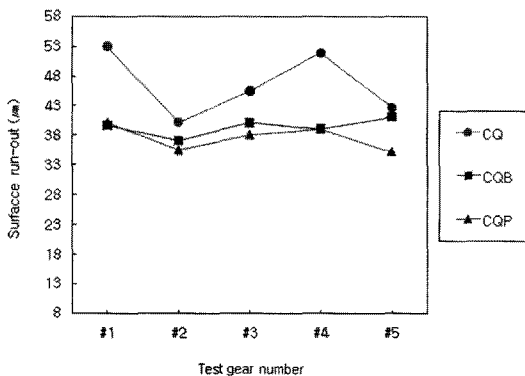


Fig. 6. Surface run-out of test piece gear.

(Run-out)의 경우 CQ를 기준으로 CQB는 약 15.5%, CQP는 약 19.4% 향상된 것으로 나타났다. 이것은 CQB와 CQP에 의한 이물질 및 burr 제거에 의한 튀는 현상이 발생하지 않았기 때문이다.

3.4. 시험기어의 치형 측정

기어에 있어서 가장 중요한 부분이 치형이다. 치형에는 Profile과 Lead가 있는데 Profile는 Gear의 Root에서 Tip 방향으로의 Involute 곡선의 형상을 말하며, Lead는 Gear tooth의 횡방향 형상을 말한다. Dimension보다 원하는 치형 및 Glade를 맞추는 것이 가장 어렵기 때문에 소음 발생의 주된 원인이 여기에 있다고 해도 과언이 아니다. 치형 측정은 기어 잇줄의 좌표를 디지털적으로 측정하여 이것을 이론상의 잇줄과 비교하여 오차를 산출하는 방법이다. 측정방법은 치형측정기(CLP-65)를 이용하여 기어의 회전중심을 측정기준으로 하고 약 90°마다 1개의 이의 좌우 양 치면을 측정했다. 그리고 유성기어는 스퍼기어로서 KS B 1405에 의해 9등급으로 나누어지며, 사용 목적에 따라서 각각의 오차에 대한 조합하여 Glade를 나타낸다. Profile 오차란 실제의 치형과 피치원의 교점을 지나는 정확한 Involute 곡선을 기준으로 하여 이에 수직방향의 측정값을 의미하며, Lead 오차는 피치원상의 정확한 잇줄방향에서 벗어난 량을 μm단위로 측정값을 말한다. Fig. 8, 9는 치형측정기(CLP-65)로 각각 CQ, CQB, CQP 처리 후 기어의 치형을 측정한 Profile error와 Lead error의 결과이다. CQ에서는 열처리 후 후처리가 없어서 튀는 현상이 발생하는 것을 볼 수 있었다. 대체적으로 CQP는 CQ와 CQB보다 약간의 개선효과가 나타났는데 이것은 표면의 Burr 및 이물질 제거로 나타난 효과로 판단된다.

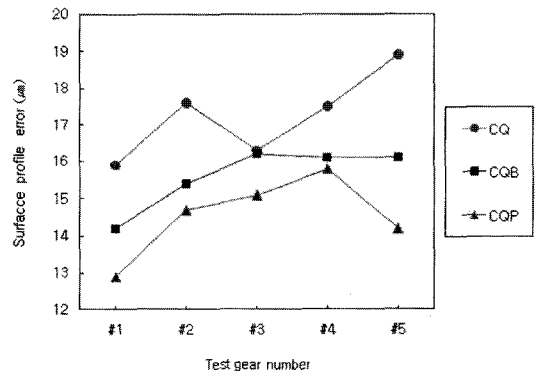


Fig. 7. Surface profile error of test piece gear.

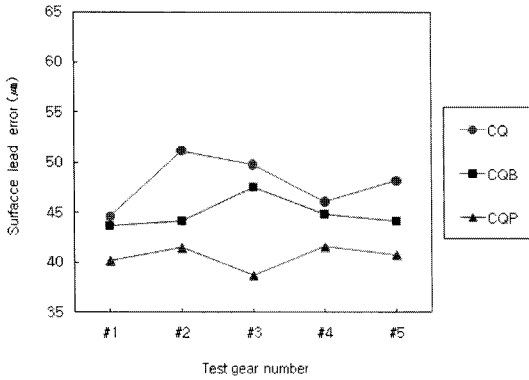


Fig. 8. Surface lead error of test piece gear.

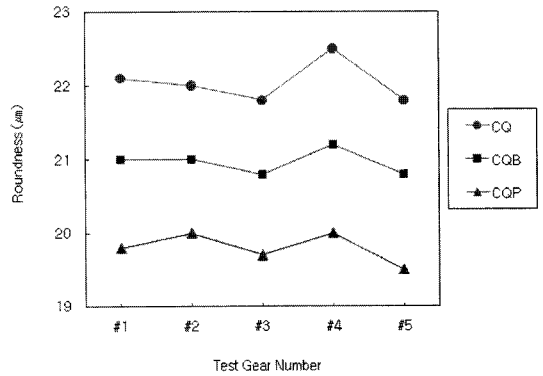


Fig. 10. Roundness of test piece gear.

3.5. 시험기어의 원통도 및 진원도 측정

유성기어에서 내경의 원통도와 진원도는 아주 중요하다. 이유는 유성기어 내경에 니들 베어링이 조립되어 제품의 소음과 진동의 직접적 원인이 되기 때문이다. 특히 니들 베어링은 민감하기 때문에 약간의 충격이나 burr가 있을시 니들 베어링의 피로 수명을 단축시켜 제품 전체의 불량률의 원인이 된다. 따라서 유성기어는 선반으로 제품 가공 시 연마 여유까지 계산해서 제품을 만들고 열처리 후 내경 연마가 필수적이다. 본 연구에서는 침탄 열처리과정에서 원통도와 진원도가 수치적으로 얼마나 변하는지를 측정하고, 그리고 CQB와 CQP 처리 후 원통도와 진원도의 향상 정도를 파악하고 침탄열처리 후 연마과정을 생략할 수 있는 지를 알아보려고 했다. 진원도 측정에 사용된 측정기는 RANDCOM41C를 이용하였다. CQ, CQB, CQP의 원통도와 진원도를 측정하여 그 값을 Fig. 9, 10에 나타냈다. 원통도는 Fig. 9에 나타난 바와 같이 CQ를 기준으로 CQB가 약 22.0%, CQP는 약 22.5% 향상된 값이 나타났다. 진원도는 Fig. 10에서와 같이 CQ를 기준으로 CQB가 약 4.9%, CQP는 약 10.2% 향상된 값이

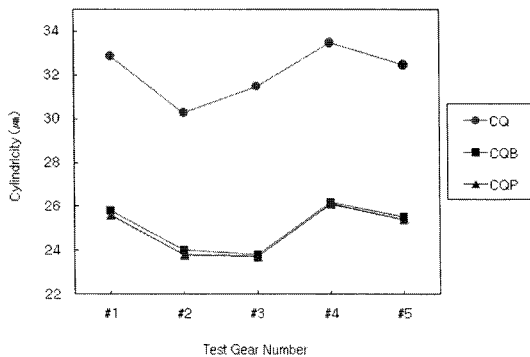


Fig. 9. Cylindricity of test piece gear.

나타났다. 따라서 침탄열처리 후 연마과정을 생략하고 CQB나 CQP로 대체가 가능하다고 판단된다.

3.6. 시험기어의 피로시험

S-N 시험법은 몇 개의 시험편을 사용하여 S-N 곡선의 경사부, 수평부에서 파괴확률 P=50%에 해당하는 S-N 곡선을 구하는 것을 목적으로 약 14개의 시험편을 사용하여 파괴확률 50%에 해당하는 S-N곡선을 구하는 시험법을 기준으로 하고 있다. S-N 곡선의 경사부를 결정하기 위하여 8개, 수평부를 결정하기 위하여 6개의 시험편을 사용하여 소표본 스테이케이시법을 적용하기 때문에 적어도 14개의 시험편이 필요하다. ISO 기어 강도 계산식¹²⁾에서 열처리 기어의 수명계수가 $N=3 \times 10^6$ 에서 1.0을 추천하므로 본 시험의 비파괴 반복하중 수는 $N=3 \times 10^6$ 으로 하였다. 전기유압서보식 굽힘피로시험기를 사용하여 CQ, CQB, CQP를 피로시험을 하였으며, 그 시험결과를 정리하여 S-N곡선의 경사부와 수평부를 구하여 Fig. 12에 나타냈다. Fig. 12에서 알 수 있듯이 CQ를 기준으로 CQB는 약 32.5%, CQP는 약 51.9% 향상되었다. Fig. 11은 굽힘피로시험기의 시스템을 나타내고 있다.

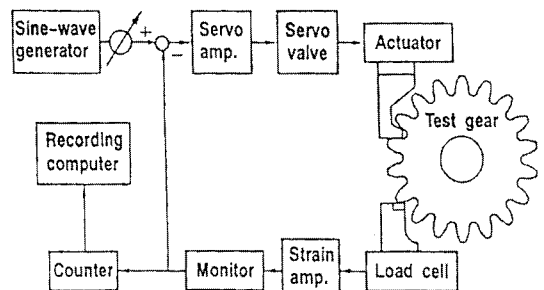


Fig. 11. System of bending fatigue tester.

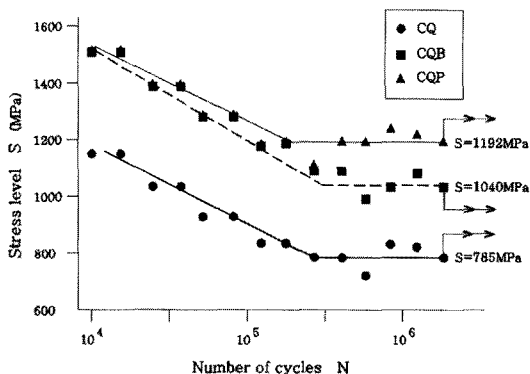


Fig. 12. S-N curves of test gears.

4. 결론

본 연구에서는 쇼트블라스트와 쇼트피닝 처리가 기어의 표면경도, 표면조도, 치형 및 피치에러 등과 같은 표면성상의 변화 및 피로강도 변화에 어떤 영향을 미치는지를 분석한 연구이며, 본 연구에서 얻은 결과는 다음과 같다.

1) PCD 부분의 표면경도 값은 침탄기어(CQ)보다 쇼트블라스트기어(CQB)는 약 4 Hv, 쇼트피닝기어(CQP)는 약 25 Hv 향상되었다.

2) 표면조도는 10점 평균 거칠기(Rz)를 기준으로 침탄기어(CQ)보다 쇼트블라스트기어(CQB)는 약 17.4%, 쇼트피닝기어(CQP)는 약 21.6% 향상되었다.

3) Pitch error는 침탄기어(CQ)를 기준으로 쇼트블라스트기어(CQB)는 약 30.4%, 쇼트피닝기어(CQP)는 약 46.5% 향상된 것으로 나타났다. 흔들림(Run-out)의 경우 CQ를 기준으로 CQB는 약 15.5%, CQP는 약 19.4% 향상된 것으로 나타났다.

4) 원통도의 경우 침탄기어(CQ)를 기준으로 쇼트블라스트기어(CQB)는 약 22.0%, 쇼트피닝기어(CQP)는 약 22.5% 향상된 것으로 나타났으며, 진원도는 CQ를 기준으로 CQB가 약 4.9%, CQP는 약 10.2% 향상되었다.

5) 피로강도의 경우 침탄기어(CQ)를 기준으로 쇼트블라스트기어(CQB)는 약 32.5%, 쇼트피닝기어(CQP)는 약 51.9% 향상되었다.

감사의 글 : 이 논문은 지식경제부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03)지원으로 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 김광태, 정재수, “기어 기초 활용 기술”, 예문사, pp. 3~7, 2001.
- 2) Wohlfahrt, H., “The Influence of Peening Condition on the Resulting Distribution of Residual Stress”, Proc. of the 2nd International Conference on Shot Peening, Vol. 1, Chicago, pp. 316~331, 1984.
- 3) Xenophon, J. K., “Shot Peening Viable Method to Extending Component Life”, SAE. 891932, 1989.
- 4) Sung-ki Lyu, etc, “Effects of Surface Treatment on the Bending Fatigue Strength of Carburized Spur Gears”, JSME International Journal Series C, Vol. 39, No. 1, pp. 108~114, 1996.
- 5) Proc, “First International Conference on Shot Peening”, Paris. Pergamon Press. 1981.
- 6) 신용승, 정성교, 서유원, “쇼트피닝한SCM22강의 피로특성평가”, 한국공작기계학회 논문집, pp. 126~131, 1998.
- 7) 이종규, 김정규, “피로강도 및 수명에 미치는 Shot Peening에 의한 잔류응력의 영향”, 대한기계학회 논문집 A권, 제21권, 제9호, pp. 1498~1506, 1997.
- 8) 정성균, 이승호, 쇼트피닝 가공 개론, 세화출판사, pp. 13~29, 78, 2001.
- 9) 이승호, 김희송, 정성균, 문혁, “고강도화를 위한 쇼트피닝이 피로강도에 미치는 영향”, 대한기계학회 추계학술대회 논문집 A, pp. 322~327, 1997.
- 10) AGMA Standard, “Practice for carburized Aerospace Gearing”, 246. 0A, pp. 11~14, 1979.
- 11) 염영하, “최신 재료 시험법”, pp. 200~201, 1996.
- 12) ISO/DP 6335/111, Calculation of load capacity of spur and helical gears, part 3, pp. 78~105, 1980.