

SCM계 기어의 열처리 효과에 관한 연구

안민주*, 안인효**, 장 기***, 류성기#****

A Study on the Heat Treatment Effect of SCM Series Gear

Min-Ju Ahn*, In-Hyo Ahn**, Qi Zhang***, Sung-Ki Lyu#****

(Received 15 February 2011; received in revised form 1 April 2011; accepted 11 April 2011)

ABSTRACT

This paper studied the carburizing of chromium molybdenum steel which the heat treatment effect of gear geometric tolerance, OPD, Runout, the surface hardness, the maximum hardness, the core hardness and the bending fatigue strength were investigated. Firstly, the deformation is observed, and the results of circularity, squareness, OPD and Runout of SCM822, SCM425, and SCM415 are obtained in order. Secondly, in order to investigate the gear hardness, the surface hardness, the maximum hardness and the core hardness of SCM822, SCM425, and SCM415 are obtained; and the surface hardness of SCM822 is about 10% higher than SCM415's, and about 3% higher than SCM425's. Thirdly, the fatigue strength of SCM822 is about 10% higher than SCM415's, and about 7% higher than SCM425's in the fatigue test results. At last, for the purpose of the minimum deformation of heat treatment, and also the improvement of fatigue strength, the best gear material is SCM822 in this test.

Key Words : Carburizing Processing(침탄처리), Geometric Tolerance(기하공차), Circularity(진원도), Squareness(직각도), Runout(런아웃), Fatigue Strength(피로강도)

1. 서 론

기어는 동력전달장치에 가장 많이 사용하고 있는 핵심부품이며, 산업발전과 함께 출력향상과 동력전달의 효율을 증가시키기 위하여 소형화, 경량화, 저진동, 저소음화, 고강도 및 내마모성이 높은 기어가 절실히 요구되고 있다. 열처리 방법^[1-6]을 개선하고, 기어에 적합한 재질을 선택하여 다양한 소비

자의 욕구에 만족하는 열처리 변형 및 경도와 피로강도의 설계값을 구해야 한다.^[7] 크롬몰리브덴강은 자동차 부품, 산업기계부품 등을 시초로 각종 기계부품에 널리 응용되고 있으며 지속적인 연구로 재질을 개발하고 연구하여 생산비를 절감하고 제품의 수명 및 품질을 개선하고자 하는 노력이 갈수록 더욱 가중되고 있으며, 여기에 기술적인 발전까지 더해 최근 들어 보다 높은 응력을 받는 제품, 즉 치수와 기계적 성질의 안정성을 더욱 절실하게 요구하는 제품을 생산할 수 있게 되었다. 이때 크롬몰리브덴강의 재질에 따라 열처리 변형 및 경도, 굽힘피로강도 등의 각종 특성을 고찰할 필요가 있다. 본 연구에서는 크롬몰리브덴강에

* 한국폴리텍VII대학, ** 한국폴리텍항공대학
***,# 교신저자 : 경성대학교 기계항공공학부(ReCAPT)
E-mail : sklyu@gnu.ac.kr

침탄처리를 실시하여 기어의 기하공차, OPD와 Runout, 표면경도, 최대경도, 심부경도, 굽힘피로강도에 미치는 열처리 효과를 연구하였다.

2. 시험편 및 열처리 방법

본 연구에서 사용한 시험치차의 주요제원을 Table 1에 나타내었다. 그리고 본 연구에 사용한 기어의 형상을 Fig. 1에 나타냈다. 이뿌리면에서의 X선 응력측정이 가능하도록 모듈 $m=5$, 잇수 $z=18$ 을 선택하고, 피로시험기의 부하 능력을 고려하여 이폭은 $b=8\text{mm}$ 를 채택하였다.

재료는 SCM415, SCM425, SCM822를 사용하였으며, Table 2에 기어재료의 화학조성비의 실측값을 나타냈다. 그리고 기어의 가공공정과 열처리 조건을 Fig. 2에 나타냈다. 직경 110 mm의 SCM415, SCM425, SCM822 환봉으로 기어 블랭크를 만들어 기계가공을 하고, 측면에서의 침탄을 방지하기 위하여 약 $20\mu\text{m}$ 의 동도금을 실시한 다음, 호브머신으로 기어를 제작하였다. 침탄열처리 방법은 930°C 까지 가열 후 재질이 기어의 기하공차, OPD와 Runout, 표면경도, 최대경도, 심부경도, 피로강도에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 SCM415, SCM425, SCM822 기어에 침탄시간을 똑같이 4시간으로 침탄처리 실시 후 1시간 확산시킨 다음 850°C 에서 10분 소입 처리 후 130°C 까지 유냉 처리하였다.

Table 1 Dimensions of test gears

Module m [mm]	5
Number of teeth z	18
Pressure angle [deg]	20
Finish	Hobbed
Gear grade	KS 5
Profile modification coef.	0
Face width [mm]	8.0 ± 0.01
Tip diameter [mm]	100.0 ± 0.01
Span gauge(3 teeth) [mm]	38.16 ± 0.01
Material	SCM415, SCM425, SCM822,
Heat - treatment	Carburized



Fig. 1 Test gear shape

Table 2 Chemical composition of SCM steel [wt %]

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
SCM415	0.165	0.265	0.73	0.015	0.017	1.0	0.15
SCM425	0.25	0.23	0.86	0.013	0.015	1.02	0.19
SCM822	0.22	0.23	0.9	0.014	0.02	1.07	0.36

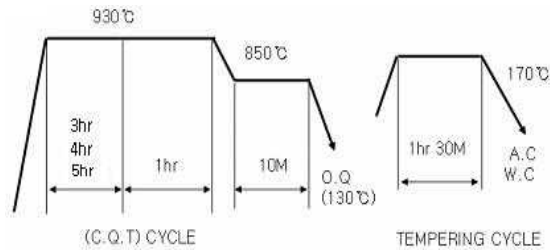


Fig. 2 Heat treatment process

3. 실험결과 및 고찰

3.1 기하공차

3.1.1 진원도와 직각도 측정결과 및 고찰

열처리 변형을 측정하기 위하여 침탄처리를 하기전에 시험기어를 각 재질별로 5개씩 진원도와 직각도를 측정된 후 동일하게 4시간씩 침탄처리를 실시하였다. 침탄처리 후 진원도와 직각도를 측정하여 측정결과를 각각 Fig. 3와 4에 나타내었다.

Fig. 3에서 알 수 있듯이 진원도는 SCM822가 SCM415보다 16%, SCM425가 9% 향상되었으며,

Fig. 4에서 알 수 있듯이 직각도는 SCM822가 SCM415보다 15%, SCM425가 9% 향상되었다.

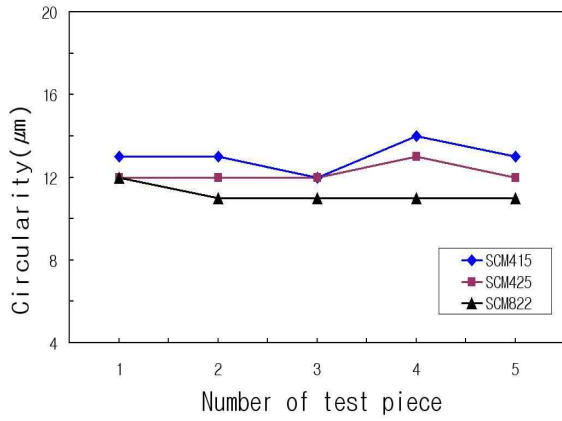


Fig. 3 Circularity distribution of test gear

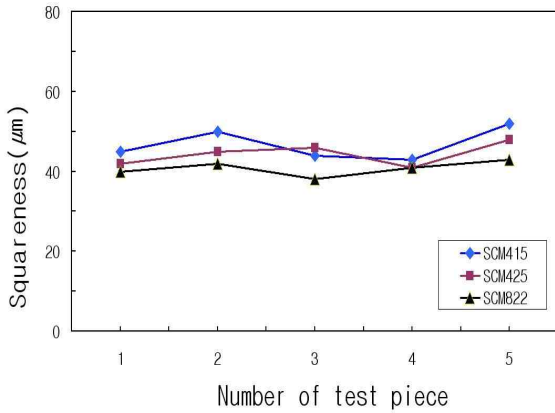


Fig. 4 Squareness distribution of test gear

3.2 치형검사

3.2.1 OPD와 Runout 측정결과 및 고찰

침탄시간의 변화에 따른 기어의 치형 변형량을 고찰하기 위하여 본 연구에서는 OPD(over pin diameter)와 런아웃(runout)을 측정하였다. OPD 측정 방법으로는 $\phi 9\text{mm}$ 의 핀 두 개를 기어의 치형 사이에 끼워 마이크로미터로 측정하여 Fig. 5에 나타내었으며, 런아웃(runout)은 시험편 기어의 내경에 심봉을 끼우고 양 센터에 끼워 회전시키면서 치형의

원주부의 변화량을 측정하여 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 5에서 알 수 있듯이 기어의 OPD는 SCM822가 SCM415보다 58%, SCM425가 50% 향상되었으며, Fig. 6에서 알 수 있듯이 기어의 Runout은 SCM822가 SCM415보다 75%, SCM425가 43% 향상되어 OPD와 Runout 모두 SCM822, SCM425, SCM415순으로 나타나 SCM822가 가장 우수한 것으로 나타났다.

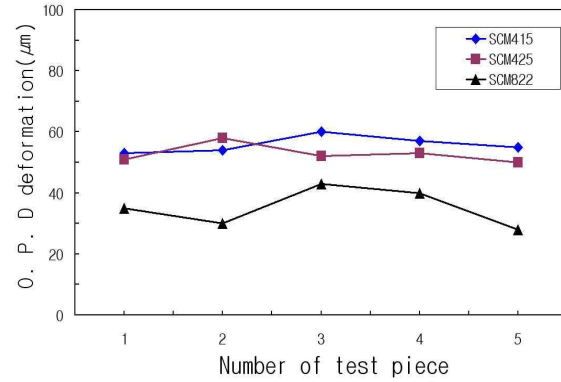


Fig. 5 Over pin diameter deformation distribution of test gear

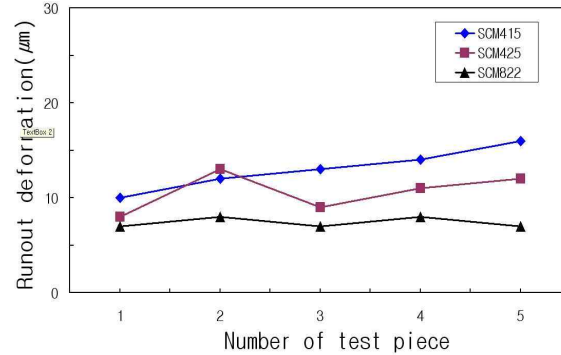


Fig. 6 Runout deformation distribution of test gear

3.3 비커스경도

3.3.1 비커스경도 측정 결과 및 고찰

비커스경도 측정은 침탄시간을 4시간 침탄처리 후 시험편을 절단하여 마운팅한 다음 polishing하여 비커스경도시험기를 사용하여 측정하였으며 표면경도는 Fig. 7, 최대경도 Fig. 8, 심부경도 Fig. 9에 각각의 측정값을 나타내었다. Fig. 7~9에서 알 수 있듯이 시험편의

표면경도, 최대경도, 심부경도는 SCM822, SCM425, SCM415 순으로 나타났다. 표면경도는 SCM822가 SCM415보다 10%, SCM425가 약 7% 높게 나타났다.

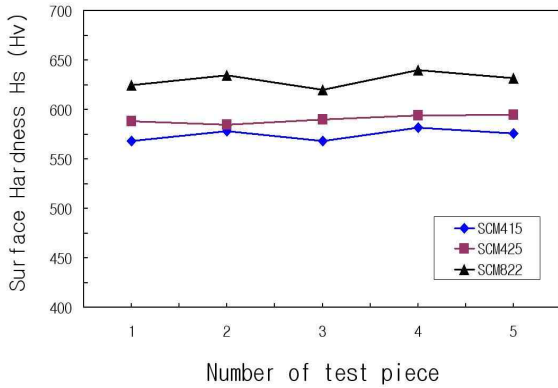


Fig. 7 A surface hardness distribution of test gear

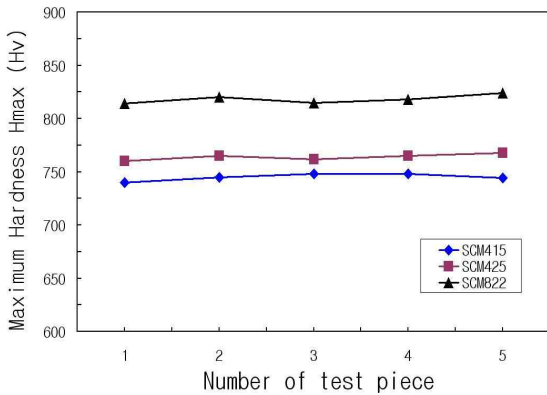


Fig. 8 A maximum hardness distribution of test gear

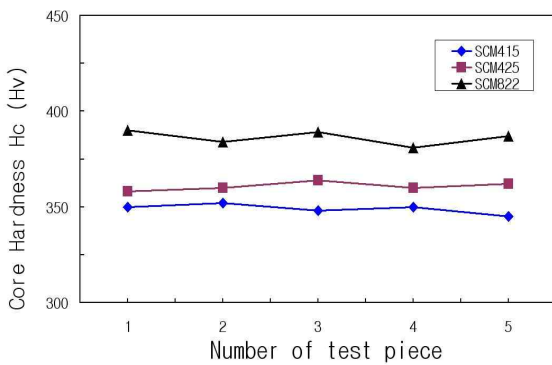


Fig. 9 A core hardness distribution of test gear

4. 피로시험 결과 및 고찰

굽힘 피로시험에는 정적정격하중 2,550N, 운전주파수 40Hz, 공급유압은 2.1MPa의 고속형 전기·유압 서보식 피로 시험기를 사용하였으며 피로시험기의 시스템구성은 Fig. 10과 같다.

시험기의 원리는 신호발생기에서 정현파 신호를 발생시켜 신호레벨 조정기에 의해 실험설정전압을 조정한다. 서보앰프에 의해 서보신호로 증폭되며, 이 신호에 의해 서보밸브가 작동하여 유압을 제어하는 피스톤을 구동한다. 시험기어의 이에 가해지는 하중은 로드셀에 의해 검출되어, 스트레인앰프에서 증폭된 후 피드백 된다. 시험기의 유온, 유압, 서보전류, 하중, 입력신호 및 편차신호는 각각 전기신호로 변환되어 제어판에서 표시된다. 시험기에는 자동정지회로가 설치되어 유온, 유압, 서보전류 및 하중이 설정 상한값을 초과하거나, 시험기어의 이빨이 절손되어 피스톤의 변위가 크게 되면, 피로시험기가 자동적으로 정지된다.

또한, 시험 중에는 항상 오실로스코프에 의해 하중파형 및 설정하중과의 편차가 모니터 된다. 부하에 의한 이빨의 손상을 방지하기 위하여 이 끝부터 반경방향으로 0.8mm 내측의 점을 하중점으로 하였으며, 부하속도는 20~40Hz로 하였다. 시험에는 일정진폭을 반복한 하중을 사용하였으며, 그 최대하중의 변동은 1% 이내가 되도록 조정하였다.

그리고 로드셀의 분리를 방지하기 위해 반복하중의 최소값으로서 약 0.9N을 설정하였다.

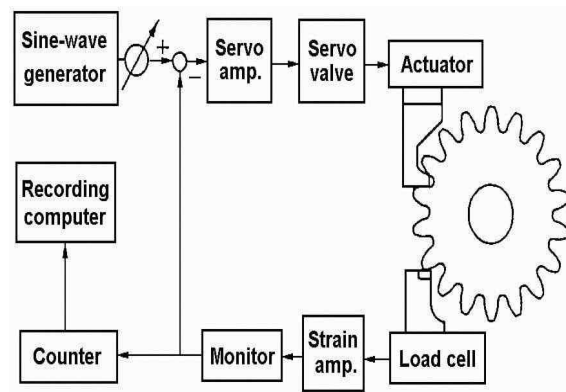


Fig. 10 System of bending fatigue tester

ISO기어 강도계산식^[8]을 참고로 하여, 본 연구에서는 열처리 시험기어의 수명계수가 $N \geq 3 \times 10^6$ 에서 1.0인 것을 고려하여 비파괴 반복하중수는 $N = 3 \times 10^6$ 으로 하였다. 전기·유압서보식 피로 시험기를 사용하여 SCM415, SCM425, SCM822의 각 시험편 기어의 피로시험을 실시하였으며, 그 시험결과를 정리하여 S-N곡선의 경사부와 수평부를 구하여 Fig. 11에 나타냈다.

침탄시간별 시험기어 피로강도는 스테아케이스(staircase)법^[9]의 $\sigma_u = S_o + \Delta d$ 를 이용하여 구하였으며 S_o 는 시험을 시작할 때의 응력레벨값이며, d 는 응력레벨값의 간격을 나타내고 있다. 계수 Δ 는 피로 시험결과 응력레벨값의 간격(d)과 피로강도, 표준편차(σ)의 비로써 계산된다. 침탄시간별 시험기

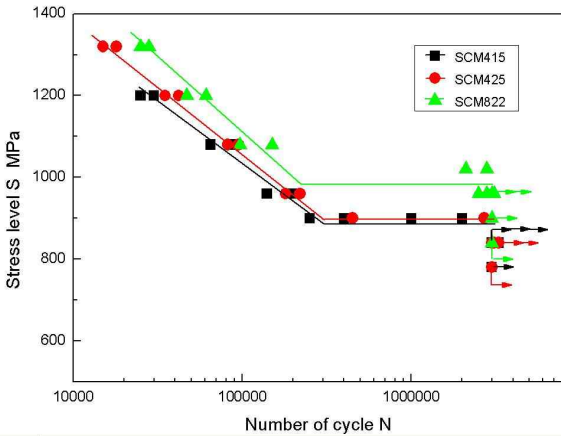


Fig. 11 S-N curves of test gear

Table 3 Estimation example of fatigue strength by staircase method

Code of gear	S_o MPa d MPa	Experimental results	Fatigue strength σ_u (MPa)
SCM415	$S_o = 780$ $d = 60$	<div style="text-align: center;"> × × × ○ ○ ○ ○ </div>	$\Delta = 1.56$ $\sigma_u = 893$
SCM425	$S_o = 900$ $d = 60$	<div style="text-align: center;"> × ○ × ○ ○ ○ </div>	$\Delta = -0.71$ $\sigma_u = 942$
SCM822	$S_o = 1020$ $d = 60$	<div style="text-align: center;"> × × × ○ ○ ○ </div>	$\Delta = 1.12$ $\sigma_u = 953$

Note) × : Break before $N = 3 \times 10^6$
○ : Not break at $N = 3 \times 10^6$

어의 피로강도는 Table 3의 예와 같이 14점 SN시험법^[10]의 스테아케이스 방법으로 5회 반복 실험한 값의 평균값으로 구하였으며, 본 시험결과기어의 굽힘 피로강도가 SCM415강이 891 MPa, SCM425강이 913 MPa, SCM822강이 979 MPa로 나타났다. 굽힘 피로강도는 SCM822가 SCM415보다는 약 10%, SCM425 보다는 약 7% 높게 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 크롬몰리브덴강에 침탄처리를 실시하여 기어의 기하공차, OPD와 Runout, 표면경도, 최대경도, 심부경도, 굽힘 피로강도에 미치는 영향에 대하여 고찰한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 진원도는 SCM822가 SCM415보다 16%, SCM425보다 9% 향상되었으며, 직각도는 SCM822가 SCM415보다 15%, SCM425보다 9% 향상되었다.
2. OPD는 SCM822가 SCM415보다 58%, SCM425보다 50% 향상되었으며, Runout은 SCM822가 SCM415보다 75%, SCM425보다 43% 향상되었다.
3. 표면경도는 SCM822가 SCM415보다 10%, SCM425보다 7% 높게 나타났다.
4. 피로강도는 SCM822가 SCM415보다는 약 10%, SCM425 보다는 약 7% 높게 나타났다.
5. 열처리 변형을 최소화 하면서 피로강도를 향상시키기 위하여 본 시험 기어의 재질로는 SCM822가 가장 좋은 것으로 나타났다.

후 기

이 논문은 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04 -01-03) 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 안민주, "SCM415강의 열처리 변형제어를 위한 냉각매질의 특성", 한국기계가공학회지, Vol. 9, No. 6, pp. 59-65, 2010.
2. 안인효 "헬리컬기어의 굽힘피로강도에 미치는

- 열처리효과에 관한 연구", 한국안전학회 2010 추계학술대회강연집, Vol. 2010, pp. 36, 2010.
3. 이진이, "SNC815 기어의 피로강도에 미치는 열처리 효과에 관한 연구", 열처리공학회지, Vol. 13, No. 1, pp. 21-26, 2000.
 4. 박소정, 경화깊이 측정법, 삼원 열처리 기술집 pp. 60-68, 1992.
 5. 한인혜, 가스침탄처리, 삼원 열처리 기술집 pp. 11-20, 1992.
 6. 이도영, "SCM420침탄기어의 표면 이상층에 관한 연구", 한국안전학회 2010 춘계학술대회 강연집, Vol. 2010, pp. 37, 2010.
 7. 표면열처리작업, 한국생산기술열처리 연구원 기술자료집, pp. 55-60, pp. 68-72, 1992.
 8. ISO/DP 6335/111, "Calculation of Load Capacity of Spur and Helical Gears", part 3, pp. 78-105, 1980.
 9. Little, R. E. "Probabilistic Aspects of Fatigue", ASME Spec. Tech. Pull, Vol. 5, No. 11, pp. 54-56, 1972.
 10. 日本機械學會編, 日本機械學會規準 S002 統計的 疲勞試驗方法, pp. 7-20, 1981.