

## SCM415 스퍼기어의 침탄처리에 관한 연구

안민주\*, 안인효\*\*, 류성기#

### A Study on the Carburizing Treatment of SCM415 Steel Spur Gear

Min-Ju Ahn\*, In-Hyo Ahn\*\*, Sung-Ki Lyu\*

(Received 28 December 2010; received in revised form 1 February 2011; accepted 14 February 2011)

#### ABSTRACT

The main objective of this paper is obtaining the optimal carburizing hours which impacts geometric tolerances, OPD(Over Pin Diameter), runout, hardness and fatigue strength of SCM415 spur gear. In order to observe the deformation of the gear, the circularity, squareness, OPD(Over Pin Diameter) and runout were measured at 3hour, 4hour and 5hour respectively. As the result, the 3hour situation is the best, which very similar with the 4hour one. Afterwards, with the purpose of getting the result of gear hardness, the surface hardness, maximum hardness and interior hardness were measured. The result is 5h situation is the best, and it's similar with 4hour one. At last, the fatigue tests have been done which receive the result that the 4h situation showed 9~12% fatigue strength improvement compared with the 3h and 5h ones. To sum up the results, the 4hour situation shows the best performance in accuracy, hardness and fatigue strength.

**Key Words** : Carburizing hours(침탄시간), Geometric tolerances(기하공차), Circularity(진원도), Squareness(직각도), Runout(런아웃), Fatigue strength(피로강도)

#### 1. 서 론

침탄처리는 가공성이 좋은 저탄소강 또는 저탄소합금강을 기계가공한 후 그 표면층에 탄소를 증가시켜 담금질하여 표면을 경화시키는 것으로 표면은 경도가 높고 내마모성이 좋으며 더욱이 내부는 연성의 성질을 가지므로 인성이 뛰어난 특성을 지니게 된다.<sup>[1,2]</sup> 자동차 부품, 산업기계부품 등을 시초로 각종 기계부품에 널리 응용되고 있으며 표면열처리 중에서 가장 많이 사용하고 있는 방법이다.<sup>[3-6]</sup>

생산비를 절감하고 제품의 수명 및 품질을 개선하고자 하는 노력이 갈수록 더욱 가중 되고 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. 침탄 경화시에 이러한 안정성을 개선하기 위해서는 열처리시 발생하는 열처리 변형을 제어 하면서 피로강도의 설계값을 만족시켜야 한다.<sup>[7]</sup>

이때 열처리와 관련된 크기 변화는 곧 부품의 재료적 특성 및 침탄처리변수와 직접적인 관계를 갖는 것이며 이 때문에 재료의 경화능이나 침탄처리 사이클 및 각종 변수들을 살펴볼 필요가 있다.

본 연구에서는 침탄시간이 기어의 기하공차, OPD와 Runout, 표면경도, 최대경도, 심부경도, 피로강도에

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

미치는 영향을 고찰하여 최적의 침탄처리조건을 제안하고자 한다.

## 2. 시험편 및 열처리 방법

본 연구에서 사용한 SCM415 시험치차의 주요제원을 Table 1에 나타내었다. 이뿌리면에서의 X선 응력측정이 가능하도록 모듈  $m=5$ , 잇수  $z=18$ 을 선택하고, 피로시험기의 부하 능력을 고려하여 이폭은  $b=8\text{mm}$ 를 채택하였다.

재료는 SCM415를 사용하였으며, Table 2에 기어재료의 화학조성의 규격값과 실측값을 나타냈다. 그리고 기어의 가공공정과 열처리 조건을 Fig. 1에 나타냈다. 직경 110mm의 SCM415환봉으로 치차 블랭크를 만들어 기계가공을 하고, 측면에서의 침탄을 방지하기 위하여 약  $20\ \mu\text{m}$ 의 둥도금을 실시한 다음, 호브머신으로 기어를 제작하였다. 침탄열처리 방법은  $930^\circ\text{C}$ 까지 가열 후 침탄시간이 기어의 기하공차, OPD와 Runout, 표면경도, 최대경도, 심부경도, 피로강도에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 침탄시간을 3시간, 4시간, 5시간으로 각각 다르게 침탄처리를 실시한 후 1시간 확산시킨 다음  $850^\circ\text{C}$ 에서 10분간 풀림처리 후  $130^\circ\text{C}$ 의 오일에서 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]	$8.0\pm 0.01$
Tip diameter [mm]	$100.0\pm 0.01$
Span gauge(3 teeth) [mm]	$38.16\pm 0.01$
Material	SCM415
Heat - treatment	Carburized

Table 2 Chemical composition of SCM415 [wt %]

SCM415	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Range	0.13~0.18	0.15~0.35	0.60~0.85	$\leq 0.03$	$\leq 0.03$	0.9~1.2	0.15~0.3
Measured	0.165	0.265	0.73	0.015	0.017	1.0	0.15

본 연구에 사용한 기어의 형상을 Photo. 1에 나타냈다.

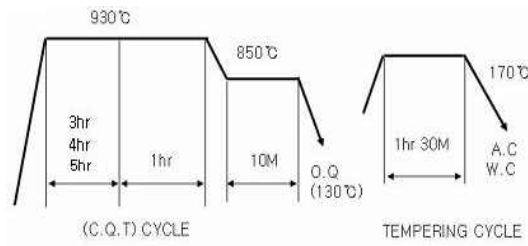


Fig. 1 Heat treatment process



Photo. 1 Test gear shape

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 기하공차

#### 3.1.1 진원도와 직각도 측정결과 및 고찰

열처리 변형을 측정하기 위하여 침탄처리를 하기전에 시험기어 15개의 진원도와 직각도를 측정 한 후 각 5개씩 침탄시간을 3시간, 4시간, 5시간으로 다르게 하여 침탄처리를 실시하였다. 침탄처리 후 진원도와 직각도를 측정하여 측정결과를 각각

Fig. 2와 3에 나타내었다.

Fig. 2와 3에서 알 수 있듯이 열처리 변형은 침탄시간을 3시간과 4시간 실시한 시험편에서는 진원도와 직각도의 변형량이 비슷하게 나타났지만 침탄시간을 5시간 실시한 시험편에서는 열변형이 크게 나타났다.

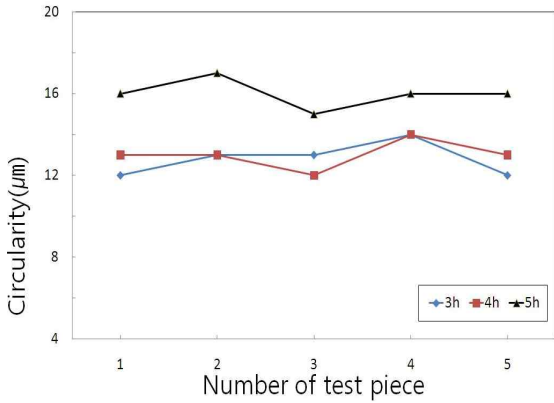


Fig. 2 Circularity distribution of test gear

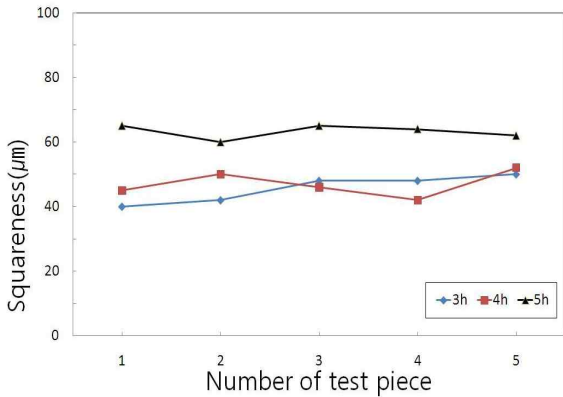


Fig. 3 Squareness distribution of test gear

### 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 측정방법으로는  $\phi 9\text{mm}$ 의 핀 두 개를 기어의 치형 사이에 끼워 마이크로미터로 측정하여 Fig. 4에 나타내었으며, 런아웃(runout)은 시험편 기어의 내경에 심봉을 끼우고 양 센터에 끼워 회전시키면서 치형의 원주부의

변화량을 측정하여 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 4와 5에서 알 수 있듯이 기어의 OPD와 Runout은 침탄시간을 3시간, 4시간으로 실시한 시험편에서 비슷하게 나타났으며, 침탄시간을 5시간 실시한 시험편에서 OPD와 Runout의 변화가 가장 많이 나타났다.

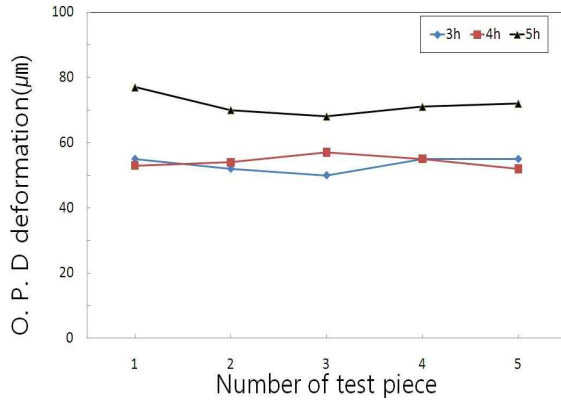


Fig. 4 Over pin diameter deformation distribution of test gear

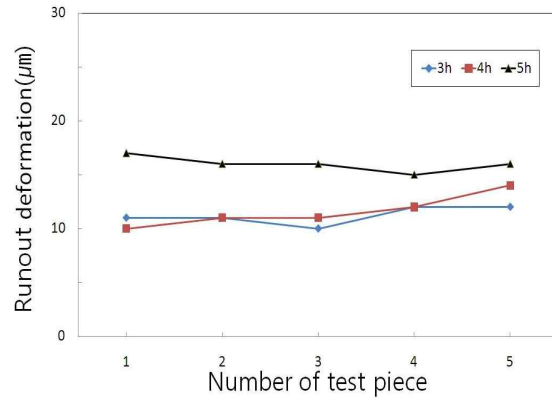


Fig. 5 Runout deformation distribution of test gear

### 3.3 비커스경도

#### 3.3.1 비커스경도 측정 결과 및 고찰

비커스경도 측정은 침탄시간을 3시간, 4시간, 5시간 침탄처리 후 시험편을 절단하여 마운팅한 다음 polishing하여 비커스경도시험기를 사용하여 측정하였으며 표면경도는 Fig. 6, 최대경도는 Fig. 7, 심부경도는 Fig. 8에 각각의 측정결과를 나타냈다. Fig. 6~8에서 알 수 있듯이 4시간 실시한 시험편의 표면경도,

최대경도, 심부경도는 5시간은 실시한 시험편과 비슷하나, 3시간 실시한 시험편보다 표면경도는 약 5%, 최대경도는 4%, 심부경도는 8% 높게 나타났다.

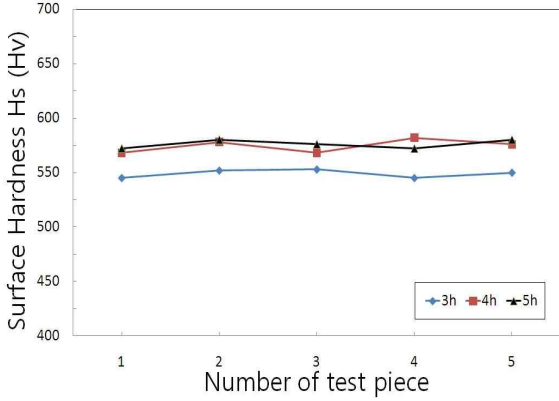


Fig. 6 A surface hardness distribution of test gear

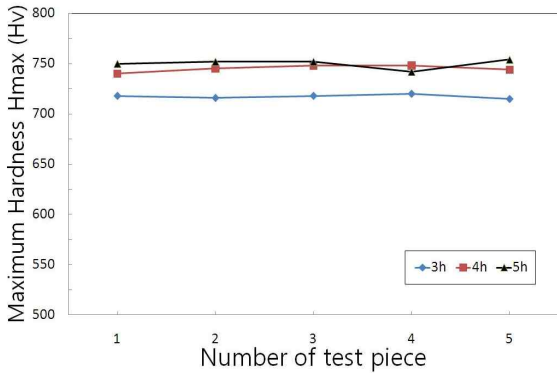


Fig. 7 A maximum hardness distribution of test gear

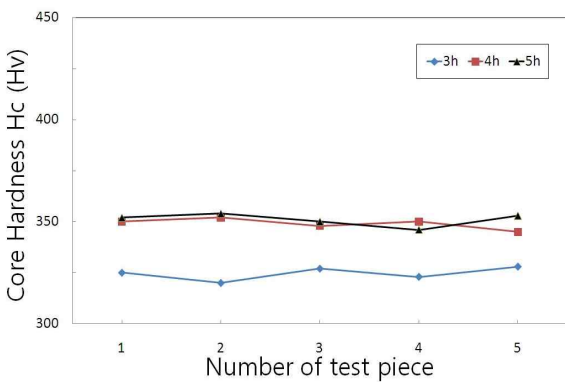


Fig. 8 A core hardness distribution of test gear

#### 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. 9와 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.

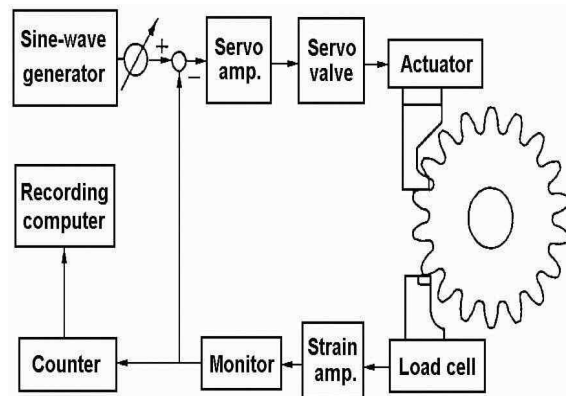


Fig. 9 System of bending fatigue tester

ISO기어 강도계산식<sup>[8]</sup>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 침탄시간을 3시간, 4시간, 5시간 실시한 각 시험편 기어의 피로시험을 실시하였으며, 그 시험결과를 정리하여 S-N곡선의 경사부와 수평부를 구하여 Fig. 10에 나타냈다.

침탄시간별 시험기어 피로강도는 스테아케이스(staircase)법<sup>[9]</sup>의  $\sigma_u = S_0 + \Delta d$ 를 이용하여 구하였으며  $S_0$ 는 시험을 시작할 때의 응력레벨값이며,  $d$ 는 응력레벨값의 간격을 나타내고 있다. 계수  $\Delta$ 는 피로 시험결과 응력레벨값의 간격( $d$ )과 피로강도, 표준편차( $\sigma$ )의 비로써 계산된다. 침탄시간별 시험기어의 피로강도는 Table 3의 예와 같이 14점 SN시험법<sup>[10]</sup>의 스테아케이스 방법으로 5회 반복 실험한 값의 평균값으로 구하였으며, 침탄을 3시간 실시한 기어는 819MPa, 4시간은 891MPa, 5시간은 795MPa로 나타났다. 본 피로시험결과 4시간의 침탄처리 기어의 굽힘피로강도가 3시간 실시한 시험편보다는 9%, 5시간 실시한 시험편보다 12% 높게 나타났다.

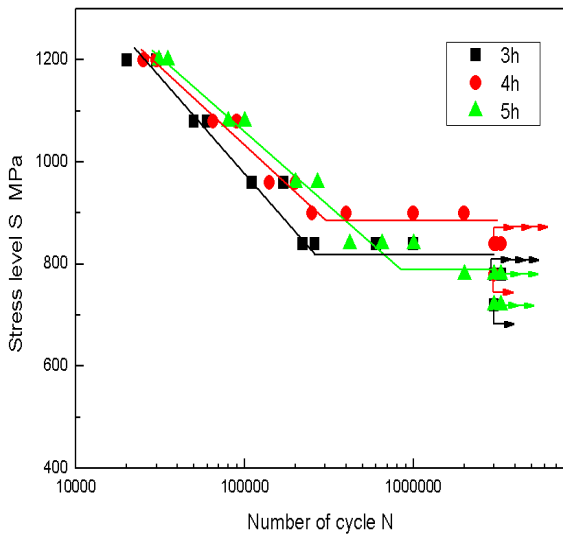


Fig. 10 S-N curves of test gear

Table 3 Estimation example of fatigue strength by staircase method

Code of gear	$S_0$ MPa $d$ MPa	Experimental results	Fatigue strength $\sigma_u$ (MPa)				
3h	$S_0 = 780$ $d = 60$	<table border="0"> <tr><td>×</td><td>×</td></tr> <tr><td>○</td><td>○ ○</td></tr> </table>	×	×	○	○ ○	$\Delta = 0.70$ $\sigma_u = 822$
×	×						
○	○ ○						
4h	$S_0 = 780$ $d = 60$	<table border="0"> <tr><td>○</td><td>○ ○</td></tr> <tr><td>○</td><td>×</td></tr> </table>	○	○ ○	○	×	$\Delta = 1.56$ $\sigma_u = 893$
○	○ ○						
○	×						
5h	$S_0 = 780$ $d = 60$	<table border="0"> <tr><td>×</td><td>○ ○</td></tr> <tr><td>○</td><td>×</td></tr> </table>	×	○ ○	○	×	$\Delta = 0.31$ $\sigma_u = 798$
×	○ ○						
○	×						

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

### 5. 결론

본 연구에서는 SCM415강의 침탄시간에 따른 특성을 밝혀, 침탄시간이 열처리 변형과 굽힘피로 강도에 미치는 영향에 대하여 고찰한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 진원도와 직각도는 침탄시간을 4시간 동안 실시한 시험편의 진원도와 직각도는 3시간 실시한 시험편과 비슷하게 나타났으며, 5시간 실시한 시험편보다 진원도는 약 23%, 직각도는 34% 적게 나타났다.
2. OPD와 Runout은 침탄시간을 4시간 동안 실시한 시험편의 OPD와 Runout값은 3시간 실시한 시험편과 비슷하게 나타났으며, 5시간 실시한 시험편보다 OPD는 약 32%, Runout값은 약 38% 적게 나타났다.
3. 침탄시간을 4시간 실시한 표면경도는 5시간 동안 실시한 시험편과 비슷하나 3시간 실시한 시험편보다 약 5% 높게 나타났다.

4. 피로시험결과 침탄시간을 4시간 실시한 굽힘 피로강도는 3시간 실시한 시험편보다 9%, 5시간 실시한 시험편보다 12% 높게 나타났다.
5. 열처리 변형을 최소화 하면서 굽힘 피로강도를 향상시키기 위하여 본 시험 기어의 경우 침탄 시간을 4시간으로 하는 경우가 가장 좋은 것으로 나타났다.

## 후 기

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

## 참고문헌

1. 안인효 “헬리컬기어의 굽힘피로강도에 미치는 열처리효과에 관한 연구”, 한국안전학회 2010 춘계학술대회강연집, Vol. 2010, pp. 36, 2010.
2. 이진이, “SNC815 기어의 피로강도에 미치는 열처리 효과에 관한 연구”, 열처리공학회지, Vol. 13, No. 1, pp. 21-26, 2000.
3. 박소정, 경화깊이 측정법, 삼원 열처리 기술집 pp. 60-68, 1992.
4. 한인혜, 가스침탄처리, 삼원 열처리 기술집 pp. 11-20, 1992.
5. 이도영, “SCM420침탄기어의 표면 이상층에 관한 연구”, 한국안전학회 2010 춘계학술대회 강연집, Vol. 2010, pp. 37, 2010.
6. 홍미원, 침탄열처리의 고정관리, 삼원 열처리 기술집, pp. 45-51, 1992.
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.