

소결치차의 성능향상과 강도평가에 관한 연구

A Study on Improvement and Estimation of Fatigue Strength in Sintering Spur Gear

류 성 기* · 문 봉 호**

Sung-Ki Lyu · Bong-Ho Moon

(1996년 3월 15일 접수, 1996년 9월 20일 채택)

ABSTRACT

This paper deals with the bending fatigue strength of sintering spur gears. The test specimens are used to sintering spur gear to be consisted of Fe-C-Ni-Mn and SCM415 spur gear. The fatigue test at a constant stress amplitude is performed by using an electrohydraulic servo-controlled pulsating tester. The S-N curves are obtained and the enhancement of fatigue strength due to carburized treatment is clarified.

Accordingly, this study presents the fatigue strength of sintering spur gear, SCM415 spur gear and carburized gears of them. The strength enhancement due to the carburized treatment is discussed.

1. 서 론

기계요소중 가장 기본적인 치차, 기어 및 항공기 등의 동력 전달 장치에 가장 많이 사용되고 있는 치차는 근대 공업의 발달과 함께 출력 향상을 위한 동력 전달의 향상과 성에너지의 관점으로부터 경량화와 원가절감이 절실히 요구되고 있다. 이들의 요구에 부응하기 위하여 대량생산이 가능하고, 급속재료보다 경량인 소결치차의 개발에 관한 연구

^{1,2)}가 활발히 진행되고 있으며, 최근에는 고밀도 고강도 소결 기계 부품 개발뿐만 아니라 자동차 부품 개발에까지 급속히 늘어나고 있다.

소결재는 종래의 금속분말과 세라믹, 유기물 등 비금속 분말을 혼합, 압축, 소결시켜 제조하기 때문에 지금까지 밝혀지지 않은 성질을 가진 금속을 만들 수 있는 가능성이 있으므로, 장래 유망한 재료로서 소결 기계 부품에 대한 연구가 중요하리라 생각된다. 이와 같은 분말야금법³⁾에 의하여 만든

* 경상대학교 기계설계학과, 항공기 부품기술연구센터

** 전북대학교 기계공학부

소결치차는 소결온도가 용융점이하에 있기 때문에 비교적 고정도이며 에너지 소비가 적고 대량생산의 이점을 가지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 이와 같이 제조한 소결치차와 SCM415 치차의 피로한도를 비교하고, 강도를 향상시키기 위하여 침탄처리를 실시한 소결침탄치차와 일반적으로 동력전달용 치차에 많이 사용하는 SCM재 침탄치차의 피로한도를 비교하여, 침탄처리가 소결치차의 피로한도에 미치는 영향과 소결치차의 특성을 고찰하고자 한다.

2. 시험치차 및 실험장치

2.1 소결치차의 제원 및 열처리조건

본 연구에 사용한 시험치차는 모듈율이 1.25인 소결치차를 제조하여 침탄처리를 실시한 소결침탄치차와 침탄처리를 실시하지 않은 소결치차를 사용하였다.

시험치차의 주요제원과 화학성분은 Table 1, 2와 같으며, 시험치차의 형상을 Fig. 1에 나타냈다.

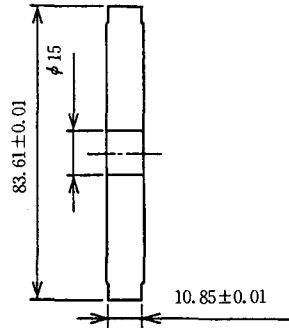


Fig. 1 Shape of test gear

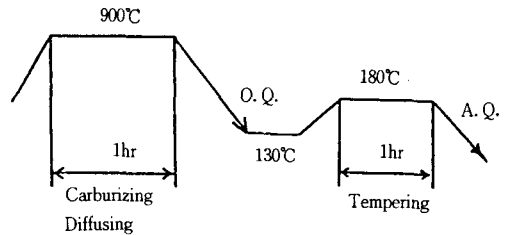


Fig. 2 Condition of heat-treatment

Table 1 Dimensions of test gears

| | | | |
|----------------------------------|----------|----------------------|---------------|
| Module | <i>m</i> | [mm] | 1.25 |
| Number of teeth | <i>z</i> | | 66 |
| Pressure angle | | [deg] | 20 |
| Profile modification coefficient | | | 0 |
| Face width | <i>b</i> | [mm] | 10.85 ± 0.01 |
| Tip diameter | | [mm] | Φ83.61 ± 0.01 |
| Span gauge(7 teeth) | | [mm] | 24.7 ± 0.01 |
| Material | | | Fe-C-Ni-Mn |
| Density | | [g/cm ³] | 6.8 |

Table 2 Chemical composition of specimen

| | | | | |
|-----------|----------|------|----------|-----|
| Fe | C | Ni | Mn | etc |
| Remainder | 0.2~0.4% | 2~4% | 0.5~1.0% | <1% |

또한, 소결치차는 성형→소결→침탄처리→배럴가공 후, 축구멍을 15mm로 가공하는 공정으로 제조하였다. 열처리조건은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 900°C에서 60분간 침탄처리를 실시한 후, 130°C의 오일에 담금질을 하고, 180°C에서 60분간 뜨임 후, 냉각시켰다.

2.2 SCM415 시험치차의 제원 및 열처리조건

본 연구에 사용한 SCM415 시험치차의 주요제원과 화학성분을 각각 Table 3, 4에 나타냈다.

치차의 가공 공정과 열처리 조건을 Fig. 3에 나타냈다. 직경 100mm의 SCM415 환봉을 잘라 치차브랭크를 만들어 850°C에서 1시간 열처리를 한 다음, 기어브랭크를 가공하여, 호브로 치차를 제작하였다. 유효침탄 깊이는 AGMA⁴⁾의 추천값을 사용하여 침탄처리를 실시하였다.

Table 3 Dimensions of test gears

| | | | |
|----------------------------------|----------|-------|---------------|
| Module | <i>m</i> | [mm] | 1.25 |
| Number of teeth | <i>z</i> | | 66 |
| Pressure angle | | [deg] | 20 |
| Finish | | | Hobbed |
| Profile modification coefficient | | | 0 |
| Face width | <i>b</i> | [mm] | 10.85 ± 0.01 |
| Tip diameter | | [mm] | Φ83.61 ± 0.01 |
| Span gauge(7 teeth) | | [mm] | 24.7 ± 0.01 |
| Material | | | SCM415 |
| Heat treatment | | | Carburized |

Table 4 Chemical composition of SCM415 [wt %]

| C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| 0.165 | 0.265 | 0.731 | 0.015 | 0.017 | 1.07 | 0.151 |

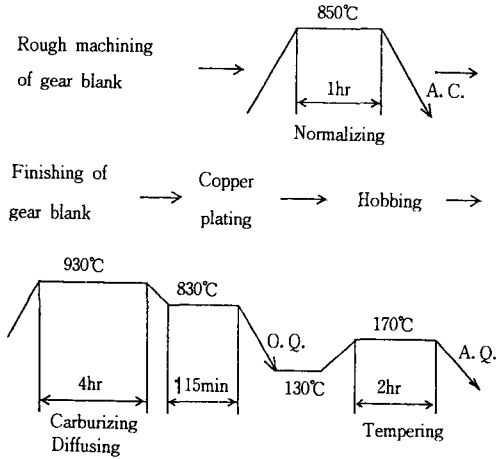


Fig. 3 Machining and heat-treatment process

2.3 피로시험장치

굽힘피로시험에는 정적정규하중 2000kgf, 주파수 40Hz의 고속형 SV-1의 전기·유압서보 피로시험기를 사용하였다. 치차의 굽힘피로시험장치와 기록시스템을 Fig. 4, 5에 나타냈다. 신호발생기에서 정현파 신호를 발생시켜, 신호레벨조정기로부터 시험 설정 전압으로 조정하여 서보앰플리파이어에서 서보신호로 증폭시킨다. 이 신호에 의하여 서보밸브가 작동되고, 유압을 제동시켜 피스톤을 구동시킨다. 시험기에 가해진 하중은 Fig. 4, 5에 나타난 바와 같이 접촉지점에 의하여 시험치차의 피치원지점에 가하여지며, 이끝으로부터 반경방향의 0.8mm 내측점을 하중점으로 하였다. 그리고, 가해진 하중은 스트레인을 부착시킨 로드셀에 의하여 계측되며, 스트레인 앰플리파이어에서 증폭된후 피드백 된다.

시험기에는 자동정지회로가 설치되어 유온, 유압, 서보전류, 하중이 설정 상한 값을 넘거나 시험기가 절손되면 피스톤변위가 크게 되므로 시험기는 자동적으로 정지된다. 또한, 시험중에는 항상 오실로스코프에 하중변동 및 설정하중의 편차가 표시된다.

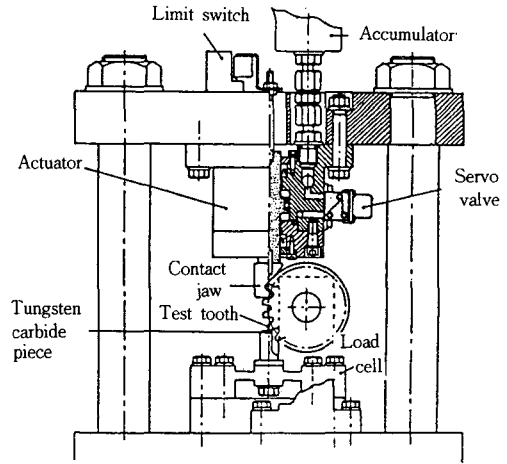


Fig. 4 Loading device of fatigue tester

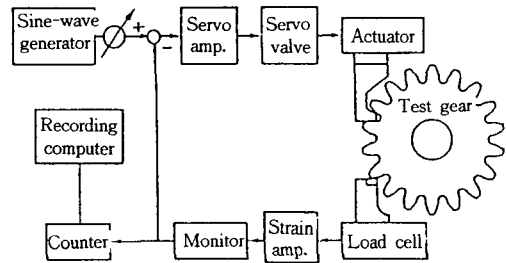


Fig. 5 System of bending fatigue test

2.4 시험하중과 이뿌리위험단면 응력의 관계

본 연구에서는 기어의 굽힘피로시험결과를 이뿌리위험단면의 실용력으로 조정하였다. 시험기에 의하여 부하되는 잇면법선하중을 P_n (kgf), 인장축 최대 이뿌리위험단면의 실용력을 S (MPa)라 나타내어, 이들의 관계를 표준치차에 대하여 유향요소법을 이용하여 구하면, 다음과 같다⁵⁾.

$$S = \frac{P_n}{bm} \left[a_1 \left(\frac{1}{z} \right) + a_2 \left(\frac{1}{z} \right)^3 + 3.50 \right] \exp \left[\left(2.50 \frac{1}{z} - 0.50 \right) \frac{\lambda_p}{m} \right] \dots \dots \dots (1)$$

- 여기에서, b : 이폭 [mm]
- m : Module [mm]
- z : 잇수
- λ_p : 이끝에서 중심점까지의 거리 [mm]

$$a_1 : 2.50-18.00X_v$$

$$a_2 : 2600 \exp(-2.75X_v)$$

$$X_v : \text{전위계수}$$

본 실험에서는 식(1)을 이용하여 시험하중과 이뿌리위험단면의 실용력과의 관계를 구한 결과 다음과 같다.

$$S(\text{MPa}) = 62.5 \frac{P_n}{b_m} = 4.61 \times P_n \dots \dots \dots (2)$$

3. 실험결과 및 고찰

3.1 경도시험

몇 개의 이를 저석으로 절단하여 표면을 래핑연마한 후 비커스 경도계를 사용하여 깊이방향 경도 분포를 측정하였다. 측정하중은 300gf, 유지시간을 20초로 하여 측정결과의 예를 Fig. 6에 나타냈다. 경도시험결과 침탄처리에 의하여 비커스경도가 약 300~400Hv 향상되는 것을 알았다. 그리고, 침탄처리를 실시한 치차의 경우 표면으로부터 약 0.15~0.25mm 깊이에서 최대경도값이 나타나고 있었다.

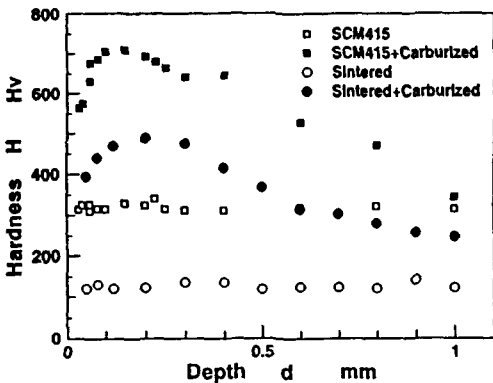


Fig. 6 Hardness distribution of test gears

3.2 피로시험 결과 및 고찰

3.2.1 소결치차와 SCM415 치차와의 피로한도 비교

Fig. 4에 나타낸 전기·유압서보식 시험기를 이

용하여 일정응력 진폭의 굽힘피로시험을 실시하였다. 또한, ISO치차강도 설계식⁶⁾을 참고하여 열처리를 하지 않는 시험치차의 반복하중의 수는 10^7 회를 초과 반복하중의 수로 하였으며, 열처리시험치차의 경우에는 초과 반복하중의 수를 $N=10 \times 10^6$ 으로 하였다.

그리고, 각계열의 치차에 대하여 일본기계학회 기준의 14점법⁷⁾에 의하여 굽힘피로실험을 하여 S-N곡선의 경사부와 수평부를 구하였다. 소결치차와 SCM415치차의 피로시험결과를 Fig. 7에 나타냈다. Fig. 7에 나타낸 바와 같이 9개의 응력레벨에서 피로시험을 하였으며, 총시험수는 소결치차의 경우 39개, SCM재 치차의 경우에는 32개의 이를 사용하였다. 피로한도는 Fig. 7로부터 파괴확률 50%의 피로한도를 구한 결과, 소결치차의 피로한도는 약 565MPa로 나타났으며, SCM재 치차의 경우에는 약 670MPa로 나타났다. 소결치차의 피로한도는 SCM재 치차의 약 85% 정도로 다소 낮게 나타났다.

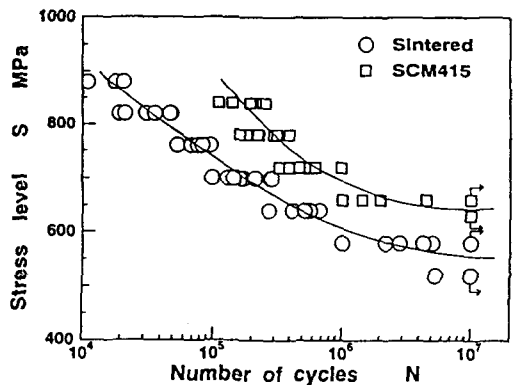


Fig. 7 S-N curves of sintering gear and SCM415 gear

3.2.2 소결침탄치차와 SCM침탄치차와의 피로한도 비교

Fig. 8에 소결침탄치차와 SCM침탄치차의 S-N곡선을 나타냈다. 피로시험의 결과 소결치차의 피로한도는 약 1135MPa이 얻어졌다. 또한, SCM415 침탄치차의 피로한도는 약 1145MPa로 나타났다. Fig. 8로부터 양치차의 피로한도는 비슷하게 나타나고 있는 것을 알 수 있으며, 2개의 S-N곡선위치로부터 피로한도 보다 높은 응력레벨

에서는 소결침탄치차쪽이 높게 나타났다.

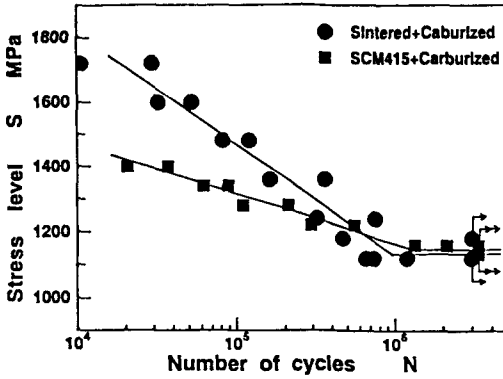


Fig. 8 S-N curves of sintered carburized gear and SCM415 carburized gear

3.2.3 소결치차와 소결침탄치차의 피로한도 비교

Fig. 9에 Fig. 7와 Fig. 8의 데이터를 정리하여 도시하였다. 그림으로부터 알 수 있듯이 동일 응력레벨의 경우 침탄처리를 실시한 소결침탄치차의 수명이 침탄처리를 실시하지 않는 소결치차의 경우보다 크게 향상되고 있음을 알 수 있다. 소결침탄치차의 피로한도는 약 1135MPa, 소결치차의 피로한도는 약 565MPa로 나타났다. 침탄처리를 실시함으로써 피로한도가 약 2배로 향상됨을 알 수 있다.

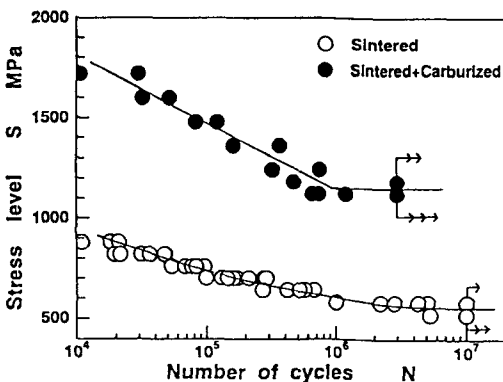


Fig. 9 Comparison of the fatigue strength between sintering gear with sintered carburized gear

따라서, 소결치차의 경우 일반적으로 동력전달 용으로 많이 사용하는 SCM재 치차보다 다소 피로한도는 낮지만, 사용목적에 따라 적절하게 표면처리를 실시하면 보다더 피로한도를 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

다른 금속재료치차보다 소결치차가 경량이므로 성에너지의 관점에서부터 동력 전달을 향상시킬 수 있으며, 또한, 대량생산이 가능하므로 원가를 절감시킬 수 있어 앞으로 많은 활용이 있을 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 소결치차, 소결침탄치차와 일반적으로 동력전달용 치차에 많이 사용하는 SCM재 치차의 피로한도를 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 소결치차와 SCM재 치차의 피로한도는 각각 565, 670MPa이 얻어졌다.
- 2) 소결침탄치차는 종래의 표준침탄치차와 같은 정도의 피로한도로 나타났다.
- 3) 본 연구에 사용한 시험치차를 침탄처리함으로써, 피로한도가 약2배로 향상되었다. 특히, 소결치차는 경량이고 대량생산이 가능하며, 또한 사용목적에 따라 적절한 표면처리를 실시하면 피로한도가 향상됨으로, 앞으로 많은 활용이 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) 仙北谷名夫, 粉末冶金法關研究, 素材物性學會誌, Vol. 2, No. 1, pp. 144~150, 1989.
- 2) 柳晟基, 金敬模, 소결치차의 피로강도에 관한 연구, 한국산업안전학회지, Vol. 9, No. 3, pp. 28~33, 1994.
- 3) 日立製作所技術改善委員會, 燒結齒車設計便覽, 1666號, pp. 12~220, 1975.
- 4) AGMA, Practice for Carburized Aerospace Gearing, 246. OA, pp. 11~14, 1983.
- 5) Tobe, T., Kato, M. and Inoue, K., True Stress and Stiffness of Spur Gear Tooth, Processing of the Fifth World Congress on

Theory of Machines and Mechanisms, Vol. 2, pp. 1105~1111, 1979., 日本機械學會誌, 第87卷, 713號, pp. 47~53, 1979.
6) ISO/DP, Principles for the Calculation of

Tooth Strength of Spur and Helical Gears, 6336/III, pp. 78~105, 1980.
7) 日本機械學會, 統計的疲勞試驗方法, JSME S-002, pp. 32~44, 1981.