

유압 피스톤 펌프 소재의 피로특성 연구[§]

김남석* · 남기우** · 김현수***†

* 부경대학교 대학원 기계공학과, ** 부경대학교 신소재공학부, *** 삼호정밀 기술연구소

Study on Fatigue Property of Material for Oil Hydraulic Piston Pump

Nam Seok Kim*, Ki Woo Nam** and Hyun Soo Kim***†

*Dept. of UR Interdisciplinary Program of Mechanical Engineering Graduate School, Pukyong Nat'l Univ.

**Div. of Advanced Materials Science and Engineering, Pukyong Seoul Nat'l Univ.

***R&D Center, Sam-ho Precision

(Received December 10, 2010 ; Revised January 28, 2011 ; Accepted February 24, 2011)

Key Words: Fatigue Property(피로특성), Fatigue Limit(피로한도), SACM645 Material(SAMC645소재), Heat Treatment(열처리), Oil Hydraulic Piston Pump(유압 피스톤 펌프)

초록: 본 연구는 유압 피스톤 펌프 재료로 사용되고 있는 SACM645소재를 사용하여 모재, QT(quenching & tempering) 시험편 및 QT 질화시험편의 피로특성을 조사하였다. 피로특성 조사결과는 다음과 같다. QT 질화시험편은 피로한도가 인장강도의 80%로 나타나 아주 높은 값을 나타내었다. 이것은 시험편 표면에 단단한 질화처리를 실시하여 피로균열의 발생을 지연시켰고, 피로균열이 발생하더라도 소재가 단단하여 균열진전속도가 늦었다고 판단된다. 파면 관찰결과 피로균열진전 영역에서는 모두 스트라이에이션이 관찰되었고, 피로균열진전 이외의 영역에서 QT 시험편은 벽개파괴의 양상을, 모재와 Qt 질화시험편은 딥플 파괴의 양상을 나타내었다.

Abstract: Oil hydraulic piston pumps are extensively used worldwide because of their simple design, light weight, and cost effectiveness. However, an oil hydraulic pump is likely to have high leakage, friction, and low energy efficiency after long-term use. In oil hydraulic piston pumps the clearance between the valve block and the piston plays an important role in the volumetric and overall efficiency. We studied the wear property of the SACM645 material used in hydraulic piston pumps via experiments with different heat treatments. We prepared three different specimens. The maximum tensile strengths of the QT and QT-nitration specimens are similar (about 820 MPa), but the strains are significantly different. However, the fatigue characteristic depended on the heat treatment.

1. 서 론

유압 피스톤 펌프와 모터는 간단한 구조로서 고압의 유압원을 생성하거나 소형이면서도 높은 토크를 발생하기 때문에 유압시스템에 널리 사용되고 있다. 피스톤과 실린더 사이의 좁은 간극에서의 마모상태는 피스톤 펌프와 모터의 성능 및 수명에 직접적으로 아주 큰 영향을 미친다. 이렇듯 내마모성과 인성 및 강도가 동시에 필요한 재료에서 표면만은 경하게 하고, 내부는 연하면서 인성을 가지게 하는 방법이

표면경화처리이다. 표면경화처리는 질화법과 침탄법이 있으며 현재 피스톤펌프에 사용되는 피스톤은 표면에 질화처리를 실시하여 사용되고 있다. 질화처리는 침탄처리에 비해 비용이 적게 들고 처리가 쉬워서 여러 부품에 작용되고 있다.^(1,2)

유압기기들의 고압화에 따라 상대운동부의 간극 및 표면조도와 함께 표면처리 기술의 중요성이 더해지고 있다. 특히 가장 고압을 발생하는 유압 피스톤의 경우 주요 부품들의 표면처리 기술을 이용한 표면경도의 확보는 부품들의 내마모성, 내피로성, 내식성 등의 향상을 위해 반드시 필요하며, 그렇지 못할 경우 마모에 의한 표면손상으로 펌프가 파손되는 결과를 초래하므로 표면처리 기술에 대한 많은 연구가 필요하다.^(3,4)

§ 이 논문은 대한기계학회 2010년도 추계학술대회 (2010. 11. 3.-5., ICC제주) 발표논문임.

† Corresponding Author, rlagustn@hanmail.net

© 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers

Table 1 Chemical composition of SACM645

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu	Al	Fe
0.43	0.32	0.34	0.08	1.48	0.19	0.17	1.11	Bal.

Table 2 Each treatment conditions of SACM645

	Treatment condition
Matrix	as rolling
QT	900 °C oil-quenched, 650 °C 1 h tempered
Nitration	520 °C 60 h, furnace cooling

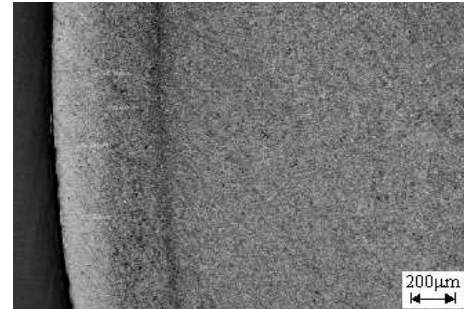
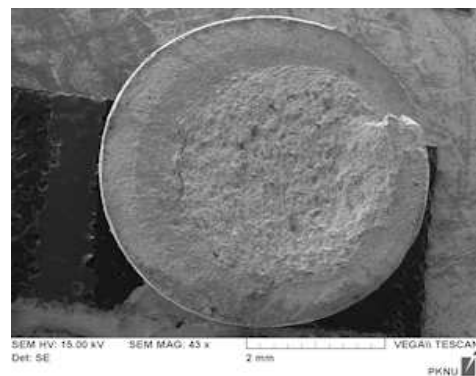
**Fig. 1** Shape of tensile and fatigue specimen

그러나 유압피스톤 펌프 모터에 대한 지금까지 수행된 많은 연구와 제품 개발, 생산에도 불구하고 피스톤 소재의 피로 특성에 대한 이론적인 연구와 이에 관한 실험은 상당히 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 유압 피스톤 펌프 재료로 사용되고 있는 SACM645 소재를 사용하여 모재, QT(quenching & tempering) 시험편 및 QT 질화시험편의 피로특성을 조사하였다.

2. 재료 및 실험방법

실험 사용한 재료는 (주)POSCO에서 제조한 SACM645를 열처리 방법을 달리하여 사용하였다. Table 1에 사용 소재의 화학성분을 나타내었다. 시험편은 모재, QT 시험편, QT 질화시험편 등 총 3가지 시험편을 제작하였다. 열처리 조건은 Table 2에 나타내었다. 인장 및 피로시험편은 KS B 0801 7호 규격에 의하여 폭 13 mm, 평행부 65 mm, 두께 5 mm로 제작하였다. 시험편의 형상은 Fig. 1에 나타내었다. 인장시험은 INSTRON 8516 만능재료시험기를 사용하였으며, 크로스헤드 속도 1mm/min으로 실시하였다. 경도 측정은 마이크로 비커스 경도기를 사용하였다. 피로시험은 인장시험기와 같은 시험기를 사용하였으며, 피로시험 조건은 응력비 $R = 0.1$ 의 정현파이고, 주파수는 10Hz로 하였다. 피로 시험의 부하응력은 정적인장 시험 후 인장데이터를 이용하여 결정하였다. 각각

**Fig. 2** Micro structure of the SACM645 with QT+nitriding treatment**Fig. 3** SEM image of SACM645 with nitriding treatment

의 시험편에 대한 부하하중은 인장 강도(820 MPa)에 대하여 85, 80, 75, 70 및 65 %로 하중제어 방식으로 실험을 실시하여 S-N Curve를 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 조직 관찰

피로시험편 소재는 여러 가지 방법으로 열처리를 실시하였지만, 대표적으로 QT 후 질화시험편의 미세조직을 Fig. 2에 나타내었다. 사진에서 나타나는 것처럼 질화처리는 표면에서 약 300 μ m까지 이루어졌지만, 통상적으로 현장에서 적용하는 경화층 깊이는 200 μ m정도 이고, 열영향을 받은 부분도 일부 관찰되었다. 내부에는 QT 처리에 의한 템퍼드 마르텐사이트 조직으로 관찰되었다.

Fig. 3은 QT 질화시험편의 피로시험 후의 파면 사진을 나타낸 것이다. 사진에서 나타나는 것처럼 표면에 질화층과 내부조직을 뚜렷이 구별할 수 있으며 질화층 깊이도 확인 가능하였다.

3.2 인장 및 경도 실험

각 종류의 시험편을 사용한 인장시험 결과를 Fig. 4에 나타내었다. QT 시험편, 및 QT 질화시험

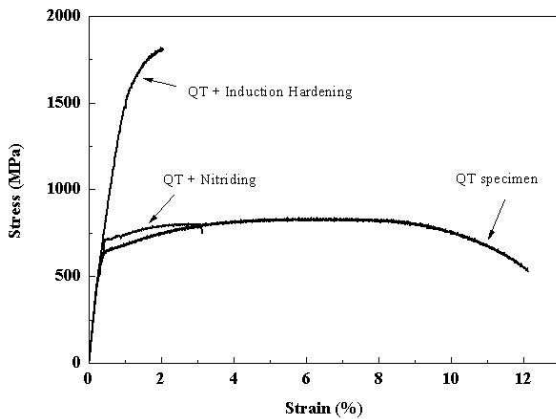


Fig. 4 Stress-Strain curve of SACM645 with various heat treatments

편의 최대응력은 820 MPa 정도로 비슷한 값을 나타내고 있으나, 변형률은 많은 차이를 나타내었다. 즉, 변형률의 크기는 QT 시험편 및 QT 질화시험편 순서로 감소하고 있다. QT 시험편은 경화 후에 템퍼링으로 인성을 부여하였기 때문에 많은 변형이 발생하였다. QT 질화시험편은 질화처리 후 경도가 Hv 800으로 매우 높으며, 연성이 매우 적게 나타났다. 한편 QT 시험편은 표면 경화에 의하여 높은 강도와 풍부한 연성을 가지게 된다. 그러나 본 연구에서 강도는 1,700 MPa로 매우 높았으나 연성이 매우 작았다. 이것은 고주파열처리에 의하여 내부까지 열처리된 것이 원인이라 판단된다.

각종 처리방법에 따른 경도값을 측정하여 Fig. 5에 나타내었다. 모재 및 QT 시험편의 경도는 210~230 Hv로 나타났으며, 시험편의 열처리에 따른 경도를 비교하여 볼 때, 고주파 열처리 한 시험편은 내부까지 550~600 Hv 정도의 경도를 유지하고 있어, 표면경화를 넘어서 전경화 되었음을 알 수 있다. 이것은 시험편의 직경이 작아 표면에 가열된 열이 냉각되기 전에 내부에 영향을 미치게 되면서 전경화가 발생한 것으로 판단된다. 이와 달리 QT 질화시험편의 경우에는 표면의 경도는 800 Hv 이상으로 높게 나타나는 반면, 시험편의 바깥쪽으로부터 300 μm 정도에서 거의 모재와 QT 시험편과 비슷한 경도를 가지는 것을 알 수 있다. 마모로 인한 오차가 가장 최소화 되어야 피스톤의 기능과 효율이 초기와 같이 유지될 수 있다고 생각된다.

Fig. 6은 SACM645 소재의 다양한 열처리 방법에 따른 피로시험의 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 나타나는 바와 같이 QT 시험편, 모재 및 QT 질화 시험편 순으로 피로 한도가 높게 나타나고 있다. 열처리하지 않은 모재는 피로한도가 533 MPa,

Table 3 Fatigue limits with various heat treatments

Heat treatment condition	Fatigue limit
Matrix	533 MPa
QT	492 MPa
QT Nitration	656 MPa

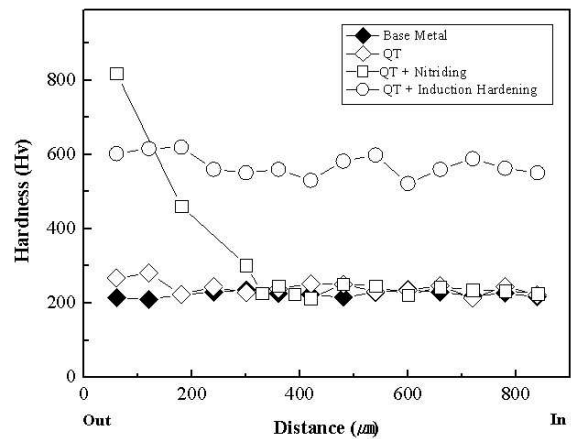


Fig. 5 Micro-hardness of SACM645 with various heat treatments

QT 시험편은 492 MPa 및 QT 질화시험편은 656 MPa로 각각 나타났다. QT 시험편이 모재보다 피로한도가 낮게 나타났는데, 이것은 QT 처리에 의하여 소재 내부 인성이 감소하였기 때문이라고 판단된다. SACM645소재는 SCM 소재에 알루미늄 (Al)이 첨가되어 인성을 증가시킨 재료로 모재를 절단할 때도 인성이 커서 어려움을 겪고 있다. 그리고 질화처리한 시험편은 피로한도가 인장강도의 80%로 나타나 아주 높은 값을 나타내었다. 이 이유는 시험편 표면에 경한 질화처리를 실시하여 피로균열의 발생을 지연시켰고, 피로균열이 발생하더라도 소재가 경한 성질이 강해서 균열진전속도 또한 늦었다고 판단된다.

전체적으로 볼 때 SACM645소재는 인성이 강한 것으로 판단되고 피로시험에서는 피로한도가 가장 낮은 QT 시험편의 경우의 피로한도는 인장강도의 60%로 나타나 다른 철강계열의 소재보다 그 피로한도가 높다고 판단된다.

Table 3에 피로시험 후 결과를 정리하여 나타내었다.

Fig. 7은 2종류 시험편의 피로시험 후 파면을 관찰하여 나타낸 것이다. 그림에서 Fig. 7(a), (c) 및 (e) 부분은 피로균열이 발생하여 진전하는 영역을

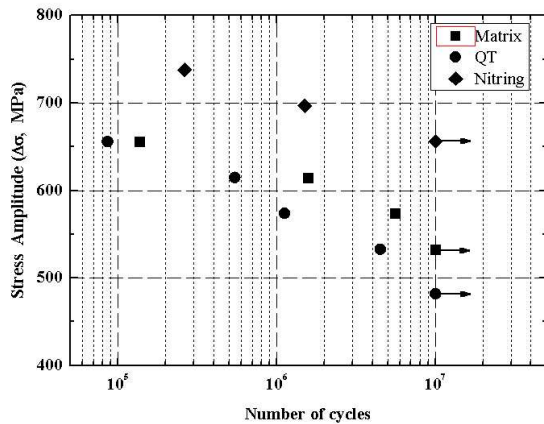


Fig. 6 S-N curve of SACM645 with various heat treatments

관찰한 것으로서, 피로파면의 전형적인 양상인 스트라이에이션이 관찰되었다. Fig. 7(b), (d) 및 (f)는 피로균열 진전 이외의 부분을 관찰한 것이다. 즉 시험편의 가운데 부분을 관찰한 것이다. Fig. 7(b) 및 (f)는 덩플 형상이 많이 관찰되었다. SACM645 소재는 인성이 강하여 피로균열 진전 이외의 부분은 주로 연성파괴의 양상을 나타내었다.

그러나 QT 처리 후 피로시험 한 소재의 가운데 부분을 관찰한 Fig. 7(d)는 벽개파괴의 형상으로 나타나 취성파괴에 가까운 것으로 판단된다. 이것은 인성이 강한 소재를 QT 처리함으로써 인성이 감소하여 나타나는 현상으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 유압 피스톤 펌프 재료로 사용하고 있는 SACM645 소재를 사용하여 모재, QT 시험편 및 QT 질화시험편의 피로특성을 조사하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 질화처리 깊이는 표면에서 약 300 μm 정도로 나타났으며, 열영향을 받은 부분도 일부 관찰되었다. 내부에는 QT 처리에 의한 템퍼드 마르텐사이트 조직으로 관찰되었다.

(2) 각 종류의 시험편을 사용한 인장시험 결과를 Fig. 4에 나타내었다. QT 시험편, 및 QT 질화시험편의 최대응력은 820 MPa 정도로 비슷한 값을 나타내고 있으나, 변형률은 많은 차이를 나타내었다.

(3) 질화처리를 한 시험편의 표면 경도는 800 Hv 이상으로 높게 나타나는 반면, 시험편의 바깥쪽으로부터 300 μm 정도에서 거의 모재와 QT 시험편과 비슷한 경도를 가지는 것을 알 수 있다. 마모로

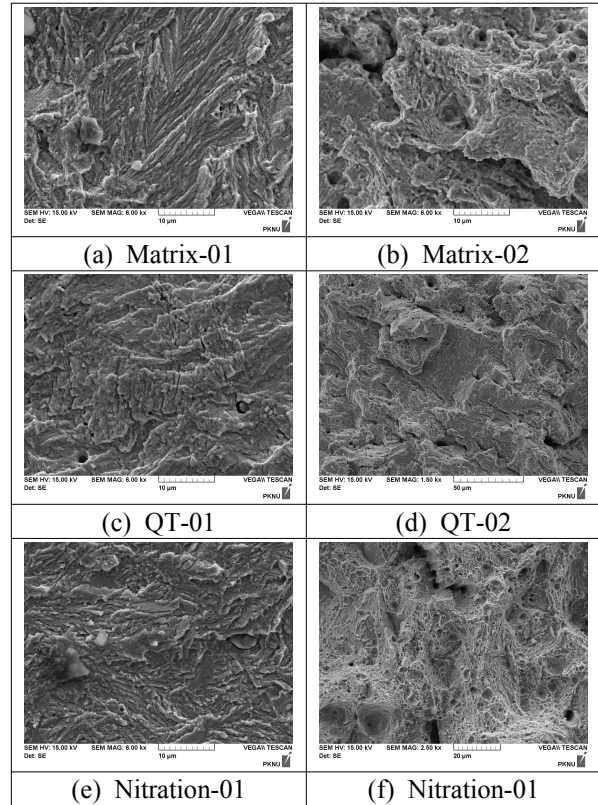


Fig. 7 SEM image after fatigue test with SACM645 material

인한 오차가 가장 최소화 되어야 피스톤의 기능과 효율이 초기와 같이 유지될 수 있다고 생각된다.

(4) QT 질화시험편은 피로한도가 인장강도의 80%로 나타나 아주 높은 값을 나타내었다. 이것은 시험편 표면에 단단한 질화처리를 실시하여 피로균열의 발생을 지연시켰고, 피로균열이 발생하더라도 소재가 단단하여 균열진전속도가 늦었다고 판단된다.

(5) 파면 관찰결과 피로균열진전 영역에서는 모두 스트라이에이션이 관찰되었고, 피로균열진전 이외의 영역에서 QT 시험편은 벽개파괴의 양상을, 모재와 Qt 질화시험편은 덩플 파괴의 양상을 나타내었다.

참고문헌

(1) Kim, H. S., Jung, H. W. and Kim, T. G., 2006, "A Study on Fretting Fatigue Characteristic of Connecting Rod for Automobile," *Trans. of the KSME06R604*, pp, 29~35.
 (2) Kim, N. S., Kim, H. S., Seong, K. Y., Ahn, S.

- H. and Nam, K. W., 2009, "A Study on Wear Property of Oil Hydraulic Piston Pump Material," *J. of the Korean Society for Ocean Engineering*, Vol. 23, No. 3, pp. 30~34.
- (3) Won, S. J., Lim, B. S., Ha, J. Y. and Nam, K. S., 2003, " A Study on the Fatigue Strength of SACM645 Steel under Various Nitriding Methods and Time," *The Korean Society of Automobile Engineers*, Vol. 9, No, 1, pp. 216~221.
- (4) Hwang, B. W., 2003, "Effects of Surface Hardening and Residual Stress on the Fatigue Characteristics of Nitrided SACM645 Steel," *International Journal of Modern Physics B*, Vol. 17, No. 8, PP. 1633~1639.