

<기술논문>

질화처리 방법 및 시간에 따른 SACM 645강의 피로 강도 변화에 대한 연구

A Study on the Fatigue Strength of SACM 645 Steel under Various Nitriding Methods and Times

원성준*, 임병수**, 하재용***, 남기석****
Sung Joon Won, Beyung Soo Lim, Jae-Yong Ha, Kee-Seok Nam

ABSTRACT

In this study, the effects of nitriding methods and times on the fatigue strength of SACM 645 steel were investigated. The rotary bending tests were carried out to obtain and compare the fatigue strengths of plasma ion nitrided specimens and gas nitrided specimen. The 70 hr. gas nitrided specimen had the highest fatigue strength of 1.05×10^3 MPa over the 40 hr., 70 hr. and 90 hr. plasma ion nitrided specimens, which had the fatigue strength of 3.48×10^2 , 4.57×10^2 and 4.64×10^2 respectively. The relationship between fatigue strengths of plasma ion nitrided specimens and nitriding time was investigated. Also, the microhardness tests were conducted to measure the effective case depths. The plasma ion nitrided specimens showed much higher surface hardness values than the gas nitrided specimen overall.

주요기술용어 : Fatigue strength(피로 강도), Plasma ion nitriding(이온질화), Gas nitriding(가스 질화), Effective case depth(유효 경화 깊이)

Nomenclature

- d : 시험편의 직경, m
- D : 유효 경화 깊이, μm
- L : 하중지점간의 거리, m
- M : 회전굽힘 모멘트, $\text{kgf}\cdot\text{m}$
- N : 사이클당 회전수
- t : 질화처리 시간, $\text{sec}^{1/2}$

- W : 중추의 중량, kg
- σ : 부하 응력, kg/m^2

1. 서론

자동차, 비행기, 공작 기계 등과 같이 경제적이고 높은 효율성을 요구하는 기계 부품들은 가공하기 쉬어야 하고 표면의 흠집이나 마모에 견딜 수 있을 만큼 충분히 단단하여야 하며, 충격에 견디기 위해서는 적절한 인성을 가져야 한다. 이렇듯 내마모성과 인성 및 강도가 동시에 필요한 재

* 회원, 성균관대학교 대학원

** 회원, 성균관대학교 기계공학부

*** 회원, 대우중공업

**** 회원, 한국기계연구원

료(기어, 크랭크축, 클러치, 캠, 스프링)에서 표면만은 경하게 하고, 내부는 연하면서 인성을 가지게 하는 방법이 표면경화처리이다.^{1),2),4)5)} 표면경화처리에는 질화처리와 침탄처리가 있으며 현재 국내에서는 처리 후에 높은 인성과 우수한 내마모성을 가지는 침탄처리가 여러 분야에서 가장 많이 이용되고 있는 실정이다. 반면에 여러 선진국들의 경우 침탄처리에 비해 비용이 적게 들고 처리가 쉬운 질화처리가 여러 부품에 적용되고 있다. 질화처리 중 이온질화는 특히 공해를 유발하지 않고 재료의 변형을 최소화하여서 이용이 증가하는 추세이다.^{2, 3)}

본 연구에서는 질화강인 SACM 645강을 가스 질화처리 및 이온질화처리하여 경도의 분포 및 회전 굽힘 피로 시험을 통해 피로 수명의 향상 정도를 비교 조사하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 시편 제작

본 연구에서 사용한 질화재는 Al과 Cr이 각각 0.77%, 1.50% 함유된 SACM 645강이다. SACM 645강의 자세한 화학 성분은 아래의 Table 1과 같다.

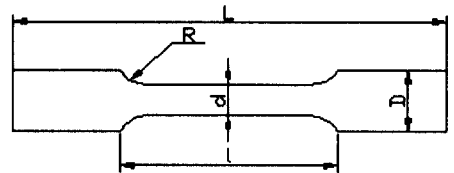
시편의 열처리는 대우중공업에서 동경시험기사의 실리콘 히터 전기로인 BM-3060으로 공기분위기에서 수행하였다. 자세한 시편의 질화전 열처리 조건은 Table 2에 나타내었다. 회전 굽힘 피로 시험 시편은 모재를 포함하여 각각 가스질화를 70시간, 이온질화를 40, 70, 90시간 동안 처리하여 준비하였다. 이온질화는 한국이온질화센타에서 처리 중량이 300kg인 NDK4를 이용하여 520℃에서 처리하였고 가스질화는 성산금속에서 자체제작한 D800mm × H1400mm 크기의 전기로를 이용하여 520℃에서 처리하였다. 피로 시험 시편의 형상 및 치수는 Fig. 1에 나타내었다. 인장 실험에 사용된 시편은 ASTM E8M에 준하여 제작하였으며 형상 및 치수는 아래의 Fig. 2에 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of SACM 645 (wt.%)

C	Si	Mn	Cr	Mo	Al	Fe
0.43	0.28	0.32	1.50	0.19	0.77	Bal.

Table 2 Heat treatment condition for SACM 645

Quenching	900℃ × 30min
Tempering	700℃ × 1hr
Stress Relief	600℃ × 3hr



(Units in mm)

Specimen	D	d	R	L	l
Unnitrided	15	12	25	170	50
Nitrided	12	8	20	225	40

Fig. 1 Geometry of bending fatigue test specimen

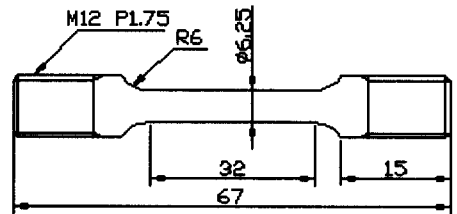


Fig. 2 Geometry of tensile test specimen

2.2 인장 시험

비질화처리재와 질화처리재의 인장 특성을 조사하기 위해 100Ton용량의 INSTRON 4485시험기로 5 mm/min의 인장 속도로 인장 시험을 수행하였다.

2.3 피로 시험

2.3.1 회전굽힘피로 시험

질화처리한 SACM 645강의 내피로성을 조사

하기 위하여 동아시아에서 제작한 오노식 회전 굽힘 피로 시험기를 이용하여 실온에서 피로 시험을 수행하였다. 실험은 staircase법에⁴⁾ 준하여 수행한 후에 S-N선도를 구하였다. 시험기의 회전 속도는 매 시험시 digital tachometer를 이용하여 시험기의 속도가 안정된 후 측정하였고 시험의 시작부터 재료의 파단까지의 시간은 digital timer를 이용하여 측정하였다. 또한 하중은 충격 하중이 주어지지 않도록 시험기의 속도가 안정된 후 가능한 한 서서히 가해지도록 하였다.

일반적인 재료의 피로 수명은 2×10^6 회전 이상에서 파단하지 않는 굽힘응력을 피로 한도로 보기 때문에 본 시험에서는 시험편의 무한 수명을 1×10^7 회전으로 정하였다. 부하된 응력은 다음의 식(1)을 이용하여 계산하였으며 평균 응력 σ_m 은 0 그리고 응력비 R은 -1이었다.

$$\sigma = \frac{32 M}{\pi d^3} \quad (\text{kg}_f / \text{m}^2) \quad (1)$$

$$M = \frac{WL}{2} \quad (\text{kg}_f \cdot \text{m}) \quad (2)$$

2.3.2 피로 파면 조사

가스 및 이온질화처리된 재료의 미세조직을 조사하기 위해 시편의 파면을 주사전자현미경 (Scanning Electron Microscope)으로 관찰하였다.

2.4 경도 시험

질화처리한 시편의 유효 경화 깊이를 조사하기 위하여 Akashi사의 MVK-H2 모델의 Micro Vickers hardness tester를 이용하여 100 g의 하중으로 미세 경도를 측정하였다. 측정 간격은 표면에서부터 0.05 mm 간격으로 0.1 mm 깊이 까지 측정 한 후, 1 mm 깊이까지는 0.1 mm 간격으로 측정 한 다음 중심부까지는 0.5 mm 간격으로 각 시편당 3회씩 미세 경도를 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 인장 시험 결과

회전 굽힘 피로 시험을 수행하기에 앞서 SACM 645강의 인장 특성을 조사하기 위해 인장 시험을 수행하였으며 그 결과를 아래의 Table 3에 나타내었다. Gauge 크기는 6.28 mm였다. SACM 645강의 인장 강도는 질화처리를 하지 않은 시편이 983 MPa로 가장 높았다. 질화처리 한 시편 중에서는 가스질화처리된 시편이 가장 높았으며 그 다음으로는 40시간 이온질화처리한 시편이 높았다. 이온질화처리된 시편의 경우 처리 시간이 증가함에 따라 인장 강도가 감소하였다.

Table 3 Mechanical properties of SACM 645

Specimen	Tensile Strength(MPa)
Unnitrided	983
Gas Nitrided (70 hr.)	979
Ion Nitrided (40 hr.)	978
Ion Nitrided (70 hr.)	975
Ion Nitrided (90 hr.)	952

3.2 피로 시험 결과

본 연구에서는 재료의 무한 수명을 1×10^7 회전으로 정하였으며 이온질화처리한 SACM 645강의 피로 수명을 Fig. 3에 비질화처리재인 모재의 피로 수명과 비교하여 나타내었다. Fig. 3에서 보여지듯이 질화처리 시간이 증가함에 따라 재료의 피로 강도가 증가하나 그 증가폭은 질화처리 시간이 증가할수록 작아짐을 알 수 있었다. 이온질화처리를 70시간 수행한 시편과 90시간 수행한 시편의 경우 피로 한도에 도달하기 이전에는 90시간 동안 처리한 시편의 피로 수명이 더 좋았으나 본 시험에서 정한 피로 한도인 1×10^7 회전 수명에서는 Table 4에 나타나 있듯이 두 시편의 피로 강도 값이 거의 차이가 없었다.

90시간 및 40시간 이온질화재의 경우 부하 응력의 감소에 의한 피로 수명의 증가는 적었으나

70시간 이온질화재의 경우 매우 크게 증가하는 것으로 나타났다.

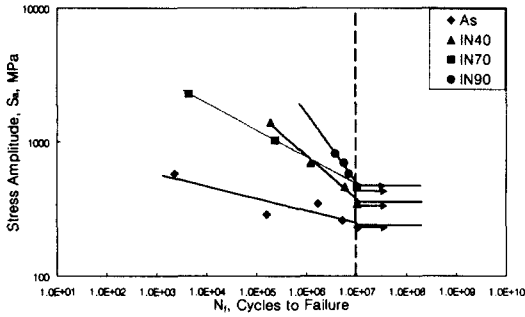


Fig. 3 S-N curves of the plasma ion nitrided and the unnitrided SACM 645 steels

Table 4 Fatigue strength of each specimen

Specimen	Fatigue Strength (MPa)
Unnitrided	2.313×10^2
Gas Nitrided (70hr.)	1.045×10^3
Ion Nitrided (90hr.)	4.571×10^2
Ion Nitrided (70hr.)	3.483×10^2
Ion Nitrided (40hr.)	4.644×10^2

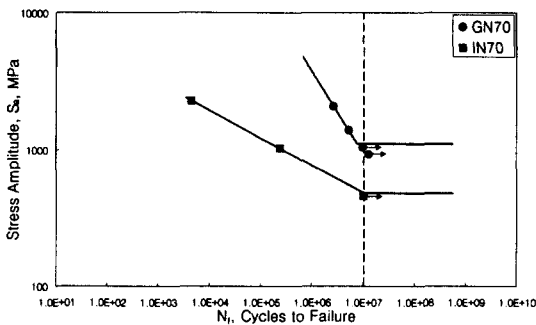


Fig. 4 S-N curve comparison of the 70 hr. gas nitrided specimen and the 70 hr. plasma ion nitrided specimen

Fig. 4는 70시간 동안 가스질화처리한 시편과 70시간 동안 이온질화처리한 시편의 피로 강도를 비교하여 나타내었다. 동일한 처리 시간하에서

가스질화처리된 시편의 피로 강도가 이온질화처리한 시편보다 약 2배정도 높았다.

Fig. 5는 이온질화처리재와 비질화처리재의 피로 강도를 도시한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 질화처리 시간이 증가함에 따라 피로 강도는 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 피로 강도의 증가 추세는 질화시간이 70시간을 넘어서면서 거의 나타나지 않았다.

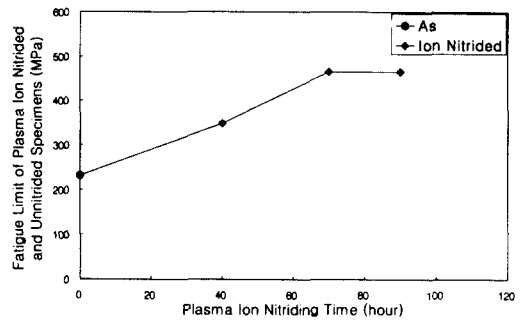


Fig. 5 Fatigue strength of the plasma ion nitrided specimens and the unnitrided specimen

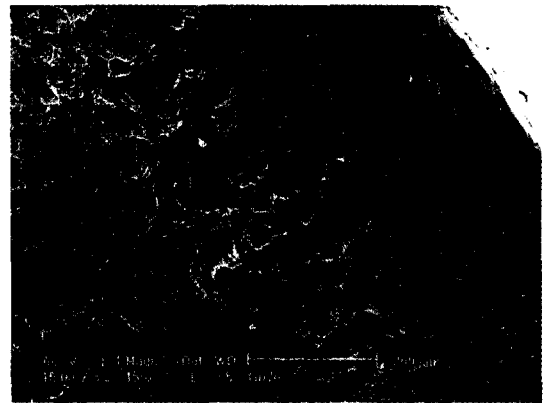


Fig. 6 SEM micrograph of fractured surface of the 70 hr. gas nitrided specimen

3.3 피로 파면 조사

Fig. 6은 70시간 동안 가스질화처리한 시편의 파면을 주사전자현미경을 이용하여 150배율로 촬영한 것이다. 질화층이 시편의 표면으로부터

약 0.4 mm까지 형성되어 있고 내부에 가까워질수록 Dimple이 많이 발견되었다.

3.4 유효 경화 깊이 조사

Fig. 7에서는 각 시편의 단면 미세 경도를 비교하였다. 각 시편의 미세 경도를 비교한 결과 질화처리재의 경도값이 질화처리한 재료의 중심부의 경도값에 비하여 낮았다. 이는 질화처리온도의 영향으로 사료된다. 또한 70시간 동안 가스 질화처리한 시편의 경우 회전 굽힘 피로 시험 결과 가장 높은 피로 강도를 가지므로 미세 경도 또한 가장 높을 것으로 추정되었으나 질화처리된 시편 중 가장 낮은 경도를 가졌다. 이는 이온질화 처리에 비해 가스질화처리재의 표면에 더 높은 잔류 응력이 발생한 것으로 생각된다.

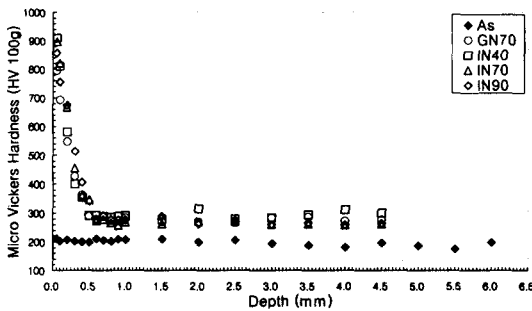


Fig. 7 Micro Vickers hardness with the depth of the nitrated and unnitrided SACM 645 steel

유효 경화 깊이는 경도 값이 시편의 내부경도보다 HV150만큼 높은 거리로 규정하였다. 이온 질화처리를 90시간 수행한 시편의 유효 경화 깊이는 0.5 mm, 70시간 수행한 시편의 유효 경화 깊이는 0.45 mm, 그리고 40시간 수행한 시편의 유효 경화 깊이는 0.35 mm로 질화처리 시간의 증가와 유효 경화의 깊이의 증가가 비례함을 알 수 있었다. 가스질화처리를 70시간 수행한 시편은 유효 경화 깊이가 0.4 mm로 이온질화처리재에 비하여 그 깊이가 매우 낮았다.

유효 경화 깊이와 질화처리 시간의 제곱근의

관계를 Fig. 8에 나타내었다. 이온질화처리 시간의 제곱근과 유효 경화 깊이는 서로 비례하는 관계로 나타났으며, 그 식은 다음과 같다.

$$D = 0.79\sqrt{t} + 49.5 \quad (3)$$

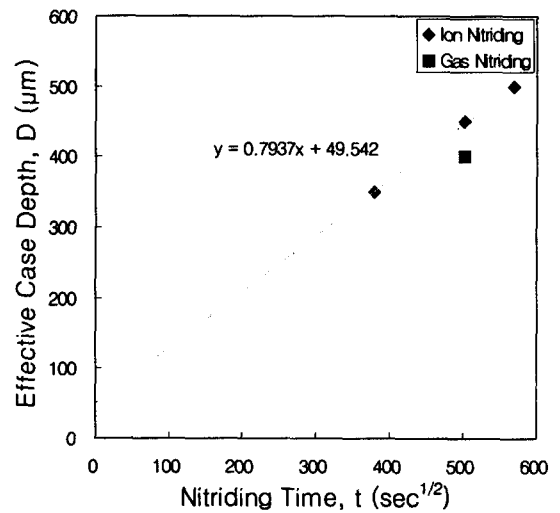


Fig. 8 Effective case depth with the nitriding time

4. 결론

본 연구에서는 대표적인 질화강인 SACM 645강의 질화처리 방법 및 시간에 따른 피로 강도에 대하여 조사하였으며 그 결과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 이온질화처리의 시간이 증가함에 따라 SACM 645강의 피로 강도는 증가하였으나, 그 증가폭은 질화처리 시간이 길어짐에 따라 감소하였다.
- 2) 70시간의 동일한 처리 시간 하에서 가스질화처리한 시편의 피로 강도가 이온질화처리한 시편의 피로 강도보다 우수하였다.

- 3) 이온질화처리 시간의 제곱근과 유효 경화 깊이는 비례하여 증가하는 것으로 관찰되었다.

후 기

이 논문은 성균관대학교의 산업설비 안전성 평가 연구 센터(SAFE, ERC)와 한국기계연구원(KIMM)의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 김대옥, "SCM415강의 플라즈마 침탄에 의한 표면 경화 특성과 진공침탄에 의한

- 기계적 성질에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위논문, 1998.
- 2) 김경태, 권숙인, "플라즈마 이온질화한 SACM645강의 미세조직 및 피로균열 발생의 해석", 열처리공학회지, Vol.9, No.1, pp.69-77, 1996.
- 3) 남기석, 권식철, "플라즈마 침탄기술", 열처리공학회지, Vol.6, No.2, pp.107-116, 1993.
- 4) 김대옥, 이영제, 임병수, "진공침탄한 SCM 415 강 of 기계적 성질에 관한 연구", pp.743-748, 한국자동차공학회 춘계학술대회, 1998.
- 5) 김대옥, 김동원, 임병수, 김석범, "플라즈마 침탄 공정을 이용한 SCM415강의 표면 경화 특성", 한국재료학회지, Vol.8, No.8, pp.707-713, 1998.