

## STS 410 재료의 피로 및 표면처리효과에 대한 연구

### Effect on Surface Treatment and Fatigue of STS 410 Materials

배동수<sup>1</sup>, 곽재섭<sup>2</sup>, 이진경<sup>3\*</sup>

Dong-Su Bae<sup>1</sup>, Jae-Seob Kawk<sup>2</sup>, Jin-Kyung Lee<sup>3\*</sup>

#### 〈Abstract〉

STS 410, a representative martensitic stainless steel, contains 13 % chromium and is used for building materials, automobile parts, office equipment, kitchen utensils, and tableware. In general, the strength of STS 410 changes by the carbon content, and STS 410 of low carbon has excellent toughness and high carbon has excellent abrasion resistance. In this study, a fatigue test was performed on the STS 410 material to evaluate the exact fatigue limit and to evaluate the behavior of the material against fatigue. In addition, the effect on burnishing, a kind of plastic processing that creates a smooth surface by pressing a ball or roller on the inner and outer surfaces of the material was evaluated. The fatigue limit was 509 MPa for the STS 410 material, and the result was 54.5 % of the tensile strength. The fatigue limit was 542 MPa for the specimen of diamond burnished STS 410 material, and it was 58.5 % of the tensile strength.

*Keywords : Carbon Content, Diamond Burnishing, Fatigue Limit, Fatigue Test Martensitic Stainless Steel, STS 410 Material*

---

1 동의대학교 신소재 공학부

2 부경대학교 기계공학과

3\* 정회원, 동의대학교 기계자동차로봇부품공학부, 부교수, 공학박사, 부산대학교, 051-890-1650

E-mail: leejink@deu.ac.kr

1 Division of Advanced Materials Engineering, Dongeui University

2 Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University

3\* Division of Mechanical, Automotive, Robot Component Engineering, Dongeui University. 051-890-1650

E-mail: leejink@deu.ac.kr

## 1. 서론

스테인레스강은 기계부품 및 일반소재용품으로 가장 많이 사용되는 재료중의 하나이며 종류도 다양하다[1]. 특히 주성분으로 크롬이 함유되어 있기 때문에 강의 표면이 매우 얇은 산화크롬이 형성되어 있어 금속기지내부로 침입하는 산소를 차단하는 부동태 피막으로 작용하기 때문에 표면에 녹이 잘 슬지 않는 특성을 가지고 있다. 그리고 다양한 종류의 스테인레스강이 존재하지만 크게 오스테나이트계, 마르텐사이트계 및 페라이트계의 3가지 종류로 나눌수 있다. 특히 오스테나이트계 스테인레스강의 대표인 STS 304는 18 %의 크롬과 8 %의 니켈의 성분으로 우리가 사용하는 일반적인 가정용 식기, 건축물 내외장재 및 화학 플랜트 등 부식에 대한 저항성이 요구되는 부품등에 많이 이용된다[2-4]. 그리고 마르텐사이트계 스테인레스강의 대표인 STS 410은 13 %의 크롬이 함유되고 건축재부품, 자동차 부품, 사무기기 및 주방기구, 식기류 등에 사용된다. 이것은 오스테나이트계 스테인레스강에 비해 크롬의 함량이 적기 때문에 내식성이 조금 낮고 가공성 및 용접성이 조금 떨어지는 성질이 있다. 그러나 담금질하여 마르텐사이트화한뒤 풀림처리를 해서 질긴 성질이 높다. 일반적으로 탄소의 함유량에 따라 강도가 변하지만 저탄소인 경우 질긴 성질이 뛰어나고 고탄소인 경우 내마모성이 뛰어나다[5-8]. 따라서 마르텐사이트계 스테인레스강을 이용하여 볼트, 너트, 제트엔진부품, 펌프샤프트, 스크류 및 노즐 등에 많이 활용된다. 따라서 본 연구에서는 마르텐사이트계의 대표적인 STS410강에 대해 샤프트 등에 적용되었을 경우 고속 회전으로 인한 재료의 특성을 평가하고자 하였다. 또한 재료의 피로특성을 평가하여 피로수명에 대해 평가하였다. 특히, 대부분의 구조물 및 축은 피로에 의해 파손되는 경우가 많

기 때문에 피로에 의한 재료의 특성 및 피로한도를 정확히 평가하는 것은 대단히 중요하다. 따라서 STS 410 재료에 대한 피로시험을 실시하여 정확한 피로한도를 평가하고 피로에 대한 재료의 거동을 평가하였다. 한편 피로균열이 시작되는 곳은 노치나 개재물과 같은 응력집중이 되는 곳에서 발생하고 피로수명을 결정짓는 중요한 요소이기 때문에 표면상태가 대단히 중요하다. 따라서 재료의 내면 및 외면에 볼이나 롤러를 눌러 매끈한 면을 만드는 일종의 소성가공인 버니싱(burnishing)에 대한 영향을 평가하였다. 이를 위해 표면을 버니싱한 경우 피로수명의 변화에 대하여 연구하여 버니싱의 효과를 평가하였다[9-11].

## 2. 재료 및 시험방법

본 연구에 사용된 STS410의 화학적 특성은 Table 1에 나타난 것처럼 크롬의 함유량이 13 %이며 재료의 강도에 많은 영향을 미치는 탄소의 함유량은 0.15%이다. 그리고 니켈은 0.60 %의 함유량을 가지고 있는 스테인레스강이다. Table 2에서는 재료의 기계적 특성을 나타낸 것으로 항복강도는 803 MPa, 인장강도는 927 MPa, 연신율 21

Table 1. Chemical properties of STS 410 (wt.%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
0.15	1.00	1.00	0.040	0.030	0.60	13.00

Table 2. Mechanical properties of STS 410

Item	Value
Yield strength(MPa)	803
Tensile strength(MPa)	927
Strain(%)	21
Hardness(HB)	279

Table 3. Specimen type

1	P_M Type	가공 후 피로시험
2	P_D_B Type	다이아몬드 버니싱 후 피로시험

% 및 브리넬경도는 279 HB를 나타내었다. 한편 본 연구에서 사용된 시험편은 Table 3과 같이 STS 410으로 제작업체(포스코)로부터 구입하여 가공한 후 피로시험을 실시한 형식(P\_M type)과 다이아몬드 버니싱(Diamond burnishing)한 후 피로시험을 실시한 형식(P\_D\_A type)의 두 가지 타입으로 시험편을 가공하여 피로시험을 실시하였다. 다이아몬드 버니싱을 하면 표면조도가 높아지고 표면경도 및 피로강도도 상승하는 것으로 알려져 있다. 특히 피로시험에서는 표면상태의 영향을 많이 받기 때문에 다이아몬드 버니싱한 경우 피로강도의 상승이 기대되기 때문에 본 연구에서는 어느 정도의 피로강도의 상승이 발생하는지 평가하고자 하였다.

Fig. 1에서는 피로시험에 대한 전체적인 그림을 나타낸 것으로 Fig. 1(a)에서 보여주는 바와 같이 최대 4개의 피로시험을 할 수 있는 시험기(YAMAMOTO)를 이용하였으며 회전시험속도는 3000 rpm, 척(collet nut)의 직경은 10mm의 조건으로 시험을 실시하였다. 그리고 Fig. 1(b)에서 보여주는 바와 같이 최대응력과 최소응력의 비인 응력비(stress ratio, R)는 -1, 평균응력( $\sigma_m$ )은 0의 피로시험조건으로 실시하였다. 그리고 시험편의 규격은 전체 100 mm, 중심직경은 3 mm로 제작하여 피로시험을 실시하였다. 또한 본 연구에서는 시험기의 규격 및 시험편의 규격을 고려하여 아래의 식을 이용하여 응력을 계산하였다.

$$\sigma = \frac{32P \cdot l}{\pi \cdot d^3}$$

여기서,  $P$ : 하중,  $l$ : 거리,  $d$ : 시험편 지름

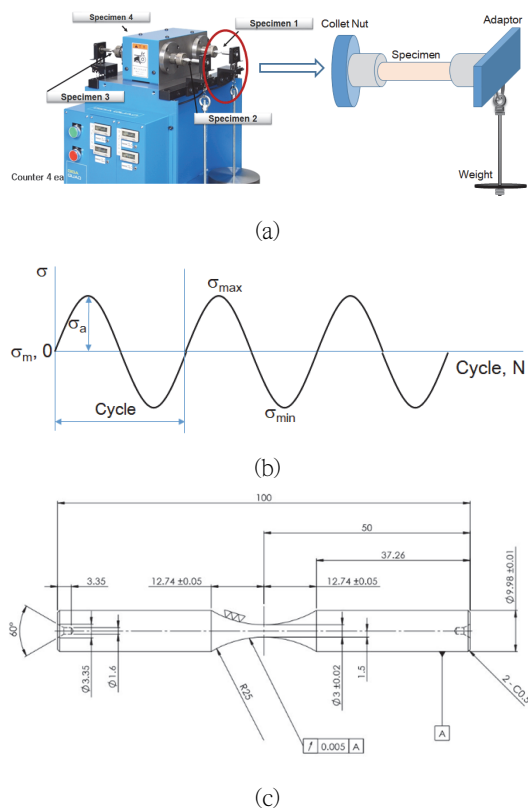


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental test(a), fatigue test condition(b) and specimen(c)

### 3. 결과 및 토의

본 연구에서는 STS410 재료에 대한 피로시험을 실시하여 S-N 곡선을 도출하였으며 특히 다이아몬드 버니싱 처리를 한 시험편에 대한 피로시험도 실시하여 버니싱 처리효과를 평가하고자 하였다. 업체에서 제조된 STS 410 재료를 P\_M type으로 하였으며 다이아몬드 버니싱 처리한 시험편을 P\_D\_B type으로 칭하였다. Fig. 2에서는 STS 410 재료에 대한 S-N 곡선을 나타낸 것으로 하중 528 MPa에서는 약 315,900 cycles에서 파단이 발생하였으며 515 MPa에서는 약 915,300

cycles의 수명을 나타내었고 약 650 MPa에서는 30,000 cycles의 수명을 나타내었다. 그리고 507 MPa에서는 2,210,000 cycles 이상의 피로수명을 나타내었으며 약 500 MPa 이하의 응력에서는 2,200,000 cycles 이상의 수명을 나타내었다. 본 연구에서는  $10^6$  cycle를 피로한도의 피로수명으로 설정하였으며 STS 410 재료는 약 509 MPa이 피로한도로 나타났다. Fig. 3에서는 굽힘응력이 인장강도의 어느정도인지를 나타낸 것으로 650 MPa인 경우 인장강도의 약 70 %의 응력으로 약 30,000 cycles의 사이클에서 파단이 발생함을 알

수 있었으며 약 515 MPa에서 530 MPa인 경우 인장강도의 55-60 % 정도의 굽힘응력으로 이 영역에서는 300,000 - 900,000 cycles 정도의 피로수명을 나타내었다. 따라서 인장강도의 약 54 % 정도에서  $10^6$  이상의 피로수명을 나타냄을 알 수 있었다.

Fig. 4에서는 다이아몬드 버니싱한 STS 410 시험편에 대한 피로시험 결과를 나타낸 것으로 그림에서 보여주는 바와 같이 S-N 곡선에서 약 650 MPa에서 76,000 cycles의 피로수명을 보였으며 약 600 MPa에서 325,000 cycles의 피로수명을

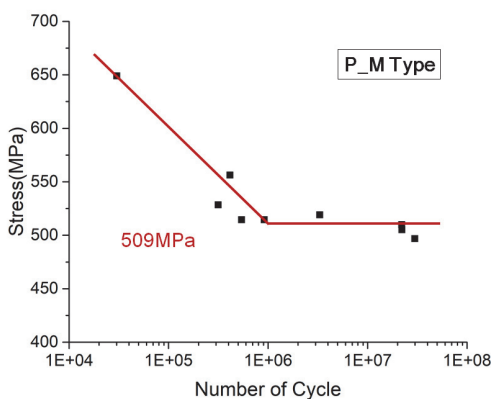


Fig. 2 S-N curve of P\_M\_type specimen

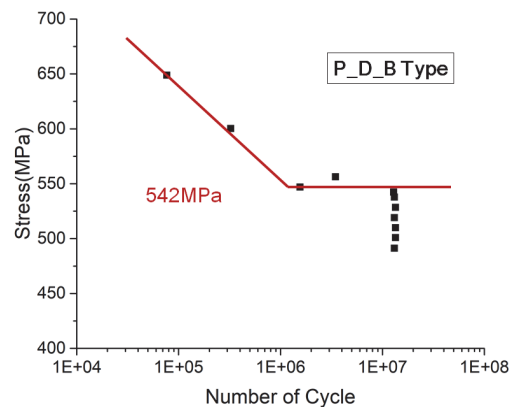


Fig. 4 S-N curve of P\_D\_B\_type specimen

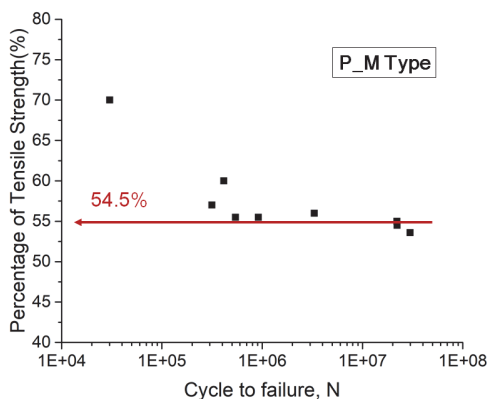


Fig. 3 Percentage of Tensile strength and cycle to failure of P\_M type specimen

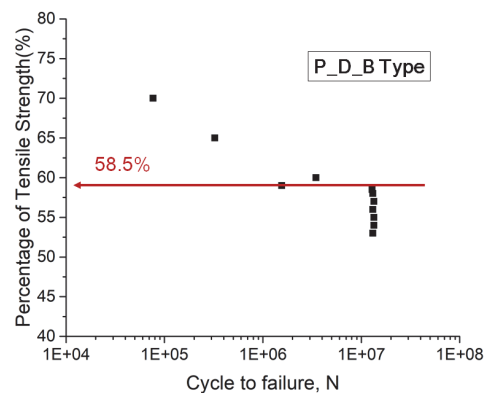


Fig. 5 Percentage of Tensile strength and cycle to failure of P\_D\_B type specimen

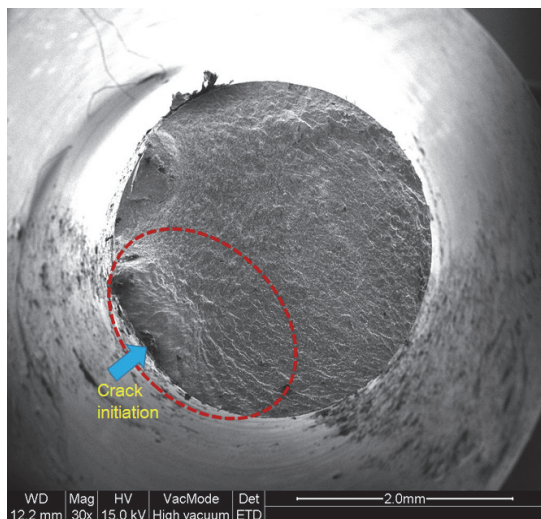


Fig. 6 Fracture surface of the specimen

나타내었다. 그리고 약 540 MPa에서 1,550,000 cycles의 피로수명을 나타내었다. 그리고 540 MPa 이하의 응력에서는  $10^6$ 이상의 피로수명을 나타내어 본 연구에서는 약 542 MPa를 피로수명으로 정하였다. 이것은 버니싱 처리를 하지 않은 STS 410 시험편에 비하여 33 MPa 정도의 굽힘강도 증가현상을 보이고 있음을 알 수 있다. Fig. 5에서는 굽힘응력이 인장강도의 어느 정도인지를 나타내는 것으로 약 650 MPa는 인장강도의 약 70 %정도이며 피로한도는 인장강도의 약 58.5 %로 나타남을 알 수 있었다. 이것은 버니싱 처리를 하지 않은 시험편에 비하여 약 4 %정도의 피로한도 증가를 알 수 있다.

Fig. 6은 피로시험 후 파손된 시험편의 단면에 대하여 SEM 관찰을 통한 파단면을 나타낸 것으로 그림에서 보여주는 바와 같이 균열이 시작되는 곳과 피로가 증가함에 따라 균열이 성장해가는 물결무늬를 볼 수 있다. 일반적으로 피로균열이 시작되는 곳은 노치나 개재물과 같은 응력집중이 되는 곳에서 발생하고 피로수명을 결정짓는 중요한 요소이기 때문에 표면상태가 대단히 중요하다.

## 4. 결론

본 연구에서는 STS 410 재료에 대한 피로특성을 평가하고 버니싱된 STS 410 재료의 피로특성을 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) STS 410 재료를 가공하여 피로시험을 실시한 경우 피로한도는 509 MPa로 나타났으며 이와 같은 결과는 인장강도의 54.5 %를 나타내었다.
- (2) STS 410 재료를 다이아몬드 버니싱을 한 경우 피로한도는 542 MPa를 나타내었으며 인장강도의 58.5 %로 나타나 버니싱을 하지 않은 시험편에 비하여 피로한도는 33 MPa 증가하였으며 4 % 정도의 피로한도 증가를 나타내었다.
- (3) 피로시험 실시후 파단된 시험편의 파단면에 대한 SEM 관찰 결과 균열이 시작된 지점과 균열이 점차적으로 전파하여 물결무늬가 관찰되어 전형적인 피로파단면을 보여주었다.

## 후 기

본 연구는 2022년도 교육부의 재원으로 한국기초과학지원연구원 국가연구시설장비진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1A6C1010045).

## 참고문헌

- [1] 탁영준, 구경희, 이금화, 남기우, 한국산업융합학회지, 25(3), 325-331, (2022).
- [2] Y. Chen, X. Zuo, W. Zhang, Z. Hao, Y. Li, Z. Luo, S. Ao, Materials Science and Engineering A, 856, 143984, (2022).

- [3] L.Y. Zhu, Z.Y. Cui, H.Z. Cui, X. Wang, Y.Z. Li, *Corrosion Science*, 196, 110039, (2022).
- [4] J.M. Seo, H.T. Kim, Y.J. Kim, H. Yamada, T. Kumagai, H. Tokunaga, N. Miura, *Nuclear Engineering and Technology*, 54(7), 2386-2394, (2022).
- [5] J. Albinmoussa, M.J. Adinoyi, N. Merah, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 192, 104393, (2021).
- [6] B. Zhu, J. Lin, Y. Lei, Y. Zhang, Q. Sun, S. Cheng, *Materials Letters*, 293, 129579, (2021).
- [7] M.J. Adinoyi, V. Merah, J. Albinmoussa, *Engineering Failure Analysis*, 106, 104166, (2019).
- [8] L.A., Espitia, H. Dong, X.Y. Li, C.E. Pinedo, A.P. Tschiptschin, *Wear*, 376-377, 30-36, (2017).
- [9] G.V. Duncheva, J.T. Maximov, A.P. Anchev, V.P. Dunchev, Y.B. Argirov, M. Kandevalvanova, *Wear*, 510-511, 204491, (2022).
- [10] S. Attabi, A. Himour, L. Laouar, A. Motallebzadeh, *J. of Materials Research and Technology*, 15, 3255-3267, (2021).
- [11] J. Kalisz, K. Zak, S. Wojciechowski, M.K. Gupta, G.M. Krolczyk, *Tribology International*, 155, 106770, (2021).

---

(접수: 2022.09.30. 수정: 2022.10.24. 게재확정: 2022.11.07.)