

서브제로 처리한 오스테나이트계 STS202의 탄성파 특성

Elastic Wave Characteristics of Austenitic STS202 with Subzero Treatment

최성원¹, 최병철², 남기우^{1*}

Seong-Won Choi¹, Byoung-Chul Choi², Ki-Woo Nam^{1*}

〈Abstract〉

This study investigated the dominant frequency of the elastic waves from the tensile test. The specimen was rolled with five different rolling degrees (10, 22, 33, 42 and 50%), which was treated subzero. The specimen was rolled at room temperature, which was transformed from austenite to martensite (only α' -martensite). The dominant frequency increased with an increase in the rolling degree regardless of the subzero temperature, and decreased after 33% of the rolling degree. On the other hand, higher frequency band was obtained at lower temperature and long time. The dominant frequency increased when the amount of α' -martensite increased and decreased with the α' -martensite amount between 50-65%. The lower subzero treatment temperature increased the amount of α' -martensite, which resulted in the higher dominant frequency. The longer treatment time at the same subzero temperature led to an increase in the amount of α' -martensite, leading to high dominant frequency.

Keywords : Austenitic STS202, Different Rolling Degree, Martensite, Elastic Wave

1. 서론

스테인리스강은 Cr을 11% 이상 가지고 있어

표면에 매우 얇은 Cr₂O₃ 부동태 피막을 형성하여 녹이 잘 슬지 않는 강이다. 오스테나이트계 스테인리스강은 내식성, 성형성, 용접성, 인성이 우수하므로 광범위한 용도로 사용된다. 오스테나이트

1 부경대학교 재료공학과 대학원생

2 한국폴리텍대학 석유화학공정기술교육원 석유화학공정과 교수

1* 정회원, 부경대학교 재료공학과, 교수
E-mail: namkw@pknu.ac.kr

1 Department of Materials Science and Engineering, Pukyong National University

2 Department of Energy and Chemical Process, Petro Chemical Training Center of Korea Polytechnics.

1* Department of Materials Science and Engineering, Pukyong National University

계 스테인리스강의 단점은 가격이 비싼 Ni의 함량이 높으므로, 비교적 저렴한 Mn을 대체한 강을 연구하고 있다.[1] 일반적으로 오스테나이트 스테인리스강의 고온 강도(600°C까지)는 양호하다.[2]

스테인리스강의 강도와 인성의 향상은 일반강과 같이 결정립 미세화가 유용한 방법이다.[7-9] 극복하는 방법으로서 오스테나이트강을 냉간압연하면, 오스테나이트 일부가 가공유기에 의하여 α' -마르텐사이트로 변태하여 강도가 크게 상승한다.[3,4] 냉간압연강은 상온 이하의 온도에서 냉각시키면, 잔류 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태하는데, 이것을 서브제로 처리라 한다.[5]

탄성파를 이용하는 방법은 구조물 내부에서 발생하는 신호를 검출하여 안전성을 평가할 수 있다.[6,7] 오스테나이트계 스테인리스강은 냉간압연으로 마르텐사이트가 생성되지만,[4] 냉간압연률에 따른 스테인리스강의 파괴에서 발생하는 탄성파 평가 연구는 아직 활발하지 않다.

본 연구는 저가의 Mn을 첨가한 오스테나이트계 STS202를 제조하여, 실온에서 5가지의 압연률로 냉간압연 하였다. 냉간 압연한 시험편은 서브제로 온도 및 시간을 다르게 처리하고, 인장에서 발생하는 탄성파를 검출하여, 냉간압연율과 탁월주파수의 관계를 조사하였다.

2. 재료 및 실험 방법

2.1 재료

오스테나이트계 STS202는 비싼 Cr 및 Ni를 각각 약 14% 및 5%, 저렴한 Mn을 약 6% 첨가하여 개발한 고 Mn 오스테나이트계 STS202이다. Table 1은 고 Mn 오스테나이트계 STS202의 화학 조성을 나타낸다.

Table 1. Chemical compositions of austenitic STS202 (wt.%)

C	S	P	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	Mo	Co
0.06	0.01	0.08	0.6	6.2	5.8	14.2	1.91	0.1	0.16

2.2 열처리 및 압연

고 Mn 오스테나이트계 STS202는 1,200°C로 가열하여, 열간압연으로 두께 2~4 mm 강판으로 만들었다. 그 후, 30분간 1,050°C 진공로에서 열처리하고, 고용체들이 석출하지 못하게 급랭하는 용체화 처리로 오스테나이트 상을 만들었다. 그리고 이 강판은 실온에서 압연율 0~50%로 냉간압연하여, 두께 2mm 판재를 얻었다. 냉간 압연한 판재는 -50°C 및 -196°C에서 각각 1시간 및 3시간 서브제로 처리하였다.

2.3 X선 회절

서브제로 처리한 냉간압연량 다른 시험편의 마르텐사이트의 체적분율은 X-선 회절분석기로 측정하였다. X-선 회절은 3KW Cu-K α X-선 튜브를 사용하여, 상온에서 측정범위 $2\theta = 5 \sim 158^\circ$ 에서 하였다. 회절 선도에서 마르텐사이트 체적분율은 γ 오스테나이트(111), α' 마르텐사이트(200)에 해당하는 피크에서 얻었다.

2.4 탄성파 검출

Fig. 1은 탄성파 획득 및 분석 흐름도이다. 탄성파 검출 장비는 PXIE-4480 Sound and vibration module로서, 최대 샘플링 속도 1.25 MS/s이다. 탄성파는 28dB 전치증폭기를 거쳐 증폭하였고, 광대역센서 1MHz로 검출하였다. 탄성

파 센서는 인장시험편의 중앙에서 대칭 거리에 2개 부착하였다. 샘플링 크기는 4,096개이다. 탄성파는 램뷰를 활용하여, 시간-주파수 분석하였다. 이때 시간-주파수 분석은 웨이블릿을 사용하였다.

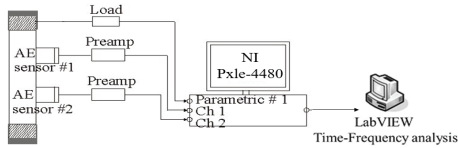


Fig. 1 Flow chart of acquisition and analysis of elastic wave

3. 결과 및 고찰

3.1 조직의 체적분률

Fig. 2는 서브제로 처리한 오스테나이트계 STS202의 냉간압연량과 상분률의 관계를 나타낸 것이다. 시험편은 실온에서 압연량을 달리하여 냉간압연 한 다음, 서브제로 처리하였다. 서브제로 처리는 일반적으로 고탄소강과 합금강을 담금질할 때, 잔류 오스테나이트(austenite)를 완전하게 마르텐사이트(martensite)로 변화시키기 위해서 0°C 이하에서 하는 처리다. 그러나 본 연구에서는 실온에서 냉간압연 하여 압연률이 다른 스테인리스강을 서브제로 처리하였다.

오스테나이트 조직은 냉간압연하고, 서브제로 처리로 마르텐사이트 조직으로 변화하였다는 것을 알 수 있다. 마르텐사이트는 미 서브제로 처리 시험편보다 냉간압연량이 증가할수록, 서브제로 온도가 낮고 시간이 길수록 같은 냉간압연량에서 많이 만들어졌다. 이같이 마르텐사이트는 서브제로 온도가 낮고 처리시간이 길수록 생성 양이 많았다. 서브제로 온도가 낮을수록 많이 생성되는 이유는 냉간압

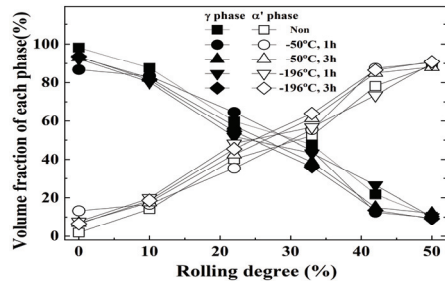


Fig. 2. Relationship between volume fraction of each phase and rolling degree according to subzero treatment condition

연에 의하여 변태한 불안정 오스테나이트 및 마르텐사이트 조직을 안정화시키기 때문이다.

3.2 웨이블릿(Wavelet; WT)에 의한 시간-주파수 해석

Figs. 3-5는 실온에서 33% 냉간압연한 시험편, 33% 냉연판을 -50°C에서 1시간 및 -196°C에서 3시간 처리한 시험편의 인장에서 얻어진 파형, 주파수 스펙트럼 및 웨이블릿 해석 결과를 나타낸다. 각 그림에서 (a)는 탄성파의 시간 응답, (b)는 주파수 스펙트럼, (c)는 웨이블릿에 의한 등고선 지도를 나타낸다.

Fig. 6은 웨이블릿 해석에서 얻어진 탁월주파수와 냉간압연량과의 관계를 서브제로 온도별로 나타낸 것이다. 탁월주파수는 서브제로 온도에 상관없이 냉간압연량 33%에서 가장 높고, 이후 감소하였다. 서브제로 미처리한 시험편의 탁월주파수는 가장 낮게 나타났고, -50°C와 -196°C에서 서브제로 처리한 시험편은 시간에 상관없이 비슷하게 나타났다. 그러나 같은 서브제로 온도에서도 장시간의 처리가 약간 높게 나타났다. 서브제로 처리 온도가 낮고 시간이 길수록 높은 주파수 대역을 나타내었다. 냉간압연량의 증가와 함께 항복 및 인장강도가 증가하였으며, 이것은 마르텐사이

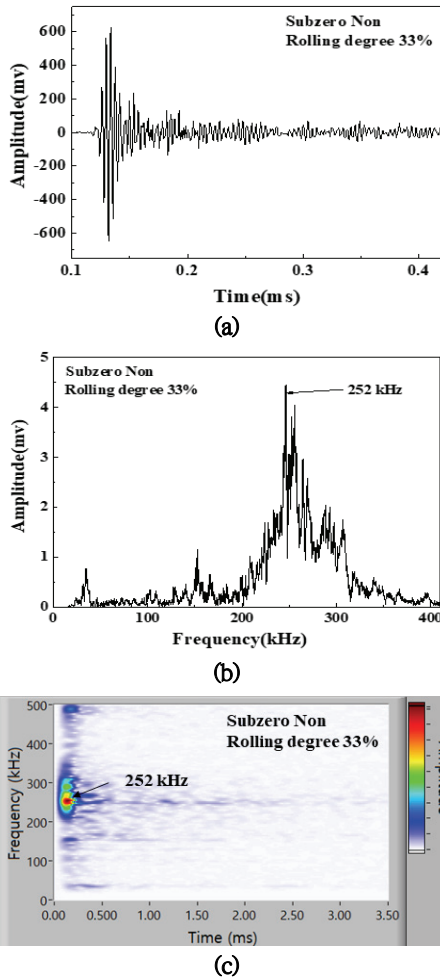


Fig. 3. Frequency characteristic from specimen of rolling degree 33% without subzero treatment, (a) Time response of elastic wave, (b) Frequency spectrum and (c) Contour map of WT

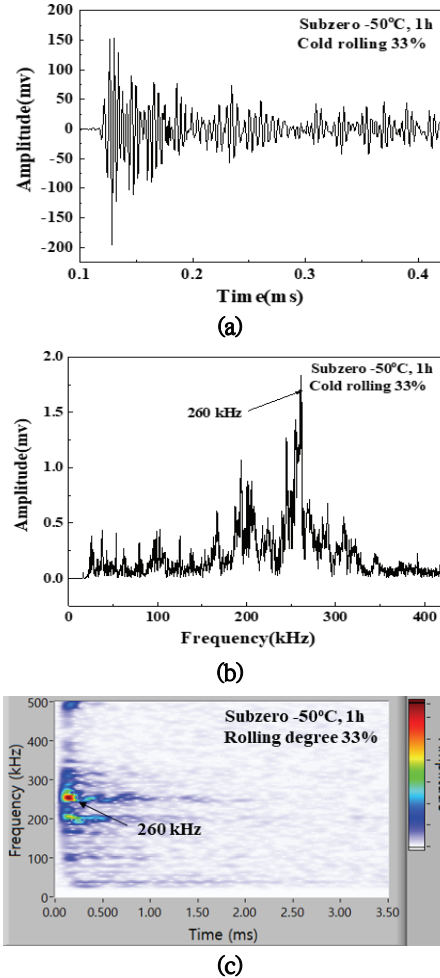
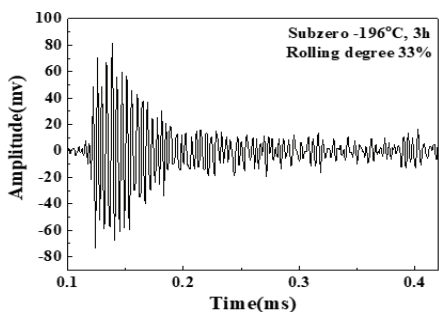


Fig. 4. Frequency characteristic from specimen of rolling degree 33% treated during 1h at subzero -50°C, (a) Time response of elastic wave, (b) Frequency spectrum and (c) Contour map of WT

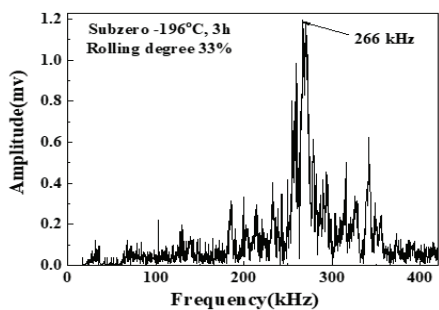
트의 양과 비례하였다. 이같이 냉간압연량의 증가는 연성이 저하하고, 취성적인 성질이 증가한다. 따라서 시험편은 외력에 의하여 미세 결함이 많이 형성되어 탄성파의 전달을 방해하여 탁월주파수가 감소하는 것으로 판단된다.

Fig. 7은 냉간압연량 33%의 탁월주파수와 서브제로 온도(-50°C, -196°C)의 관계를 나타낸다. 서브제로 미처리 시험편의 탁월주파수는 252kHz이

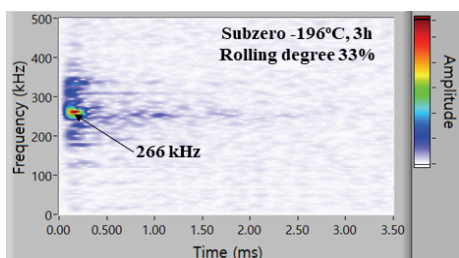
지만, 서브제로 처리 온도가 낮아지고, 시간이 길어짐에 따라서 약간 증가하였다. 즉, -50°C는 각각 260.5kHz(1h)와 262.1kHz(3h), -196°C는 각각 265.7kHz(1h)와 266.4 kHz(3h)로 처리시간이 긴 것이 근소하나마 크게 나타났다. 이같이 서브제로 처리 온도 및 시간에 따라서 탁월주파수는 약간 다르게 나타나는 것을 알 수 있었다. 위에서 설명하였듯이 이것은 마르텐사이트의 양의 증가



(a)



(b)



(c)

Fig. 5. Frequency characteristic from specimen of rolling degree 33% treated during 3h at subzero -196°C. (a) Time response of elastic wave, (b) Frequency spectrum and (c) Contour map of WT

에 따라서 인장 시에 많은 미세 균열이 발생하여 탄성파의 진전을 방해하였기 때문이라 판단된다.

Fig. 8은 서브제로 처리한 시험편의 α' -마르텐사이트 양에 따르는 탁월주파수를 나타내었다. 탁월주파수는 α' -마르텐사이트 양이 증가함에 따라서 높아지다가 50~65% 사이에서 감소하였다. 서브제로 미처리 시험편은 α' -마르텐사이트 양 52.3%에서 탁월주파수 252 kHz를 나타내었다. 그

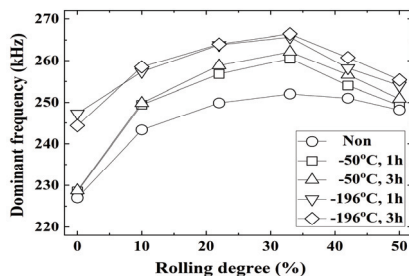


Fig. 6. Dominant frequency of elastic wave according of subzero temperature, hour and rolling degree

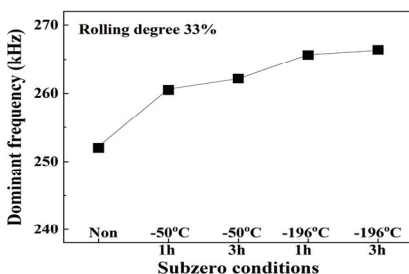


Fig. 7. Dominant frequency according of subzero condition at rolling degree 33%

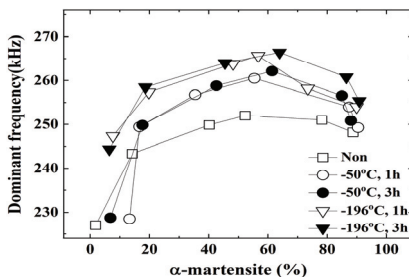


Fig. 8. Dominant frequency according of α' -martensite of specimen with subzero treatment

리고 -50 °C 처리 시험편은 각각의 α' -마르텐사이트 양 55.43%와 61.39%에서 260.5 kHz(1h)와 262.1 kHz(3h)이고, -196 °C 처리 시험편은 각각의 α' -마르텐사이트 양 56.7%와 63.9%에서 265.7 kHz(1h)와 266.4 kHz(3h)로 나타났다. 즉, 서브제로 처리 온도가 낮아짐에 따라서 α' -마르

텐사이트 양이 증가하고, 탁월주파수도 높게 나타났다. 또한, 같은 서브제로 온도에서 처리시간이 길어짐에 따라서 α' -마르텐사이트 양이 증가하고, 탁월주파수는 높게 나타났다.

4. 결론

본 연구는 5가지의 냉간압연률(10, 22, 33, 42 및 50%)로 가공한 오스테나이트계 STS202를 사용하여, $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 와 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 각각 1시간과 3시간 서브제로 처리하였다. 이 시험편은 인장에서 발생하는 탄성파의 탁월주파수를 조사하였다. 얻어진 결과는 다음과 같다.

(1) 실온에서 냉간압연한 시험편은 오스테나이트에서 마르텐사이트로 변태하였으나, α' -마르텐사이트 만 생성되었다. 마르텐사이트는 냉간압연량이 증가할수록, 서브제로 온도가 낮고 시간이 길수록 동일 냉간압연량에서 많이 생성되었다.

(2) 탁월주파수는 서브제로 온도에 상관없이 냉간압연량의 증가와 함께 증가하고, 냉간압연량 33% 이후는 감소하였으나, 처리 온도가 낮고 시간이 길수록 높은 주파수 대역을 나타내었다.

(3) 서브제로 미처리한 냉간압연량 33% 시험편의 탁월주파수는 252 kHz이지만, 서브제로 처리한 냉간압연량 33% 시험편은 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 각각 260.5 kHz(1h)와 262.1 kHz(3h), $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 각각 265.7 kHz(1h)와 266.4 kHz(3h)로 처리시간이 긴 것이 약간 크게 나타났다.

(4) 탁월주파수는 α' -마르텐사이트 양의 증가와 함께 높아지고, 50~65% 사이에서 감소하였다. 서브제로 처리 온도가 낮아짐에 따라서 α' -마르텐사이트 양이 증가하고, 탁월주파수는 높았다. 동일 서브제로 온도에서 처리시간이 길어짐에 따라서 α' -마르텐사이트 양이 증가하고, 탁월주파수는 높았다.

참고문헌

- [1] J. S. Kim, Y. H. Kim, H. W. Kim, J. Y. Koo, J. H. Sung, C. Y. Kang, "Effect of Austenite on the Pitting Corrosion of 202 Stainless Steel with Two Phases of Austenite and Martensite," *Journal of Power System Engineering*, vol. 20, no. 1, pp. 36-41, (2016).
- [2] R. K. Desu, H. N. Krishnamurthy, A. Balu, A. K. Gupta, S. K. Singh, "Mechanical properties of Austenitic Stainless Steel 304L and 316L at elevated temperatures," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 5, pp. 13-20, (2016).
- [3] C. Y. Kang, M. G. Kwon, "Effect of Thermomechanical Treatment on the Mechanical Properties of 316L Stainless Steel," *Journal of Power System Engineering*, vol. 18, pp. 100-105, (2014).
- [4] B. C. Choi, C. Y. Kang, K. W. Nam, 2019, "Characteristics for Weibull distribution of Vickers hardness to different cold rolled STS316L," *Journal of Power System Engineering*, vol. 23, pp. 85-90, (2019).
- [5] K. Yildizli, "Investigation on the microstructure and toughness properties of austenitic and duplex stainless steels weldments under cryogenic conditions," *Materials & Design*, vol. 77, pp. 83-94, (2015).
- [6] Y. S. Kong, J.K. Lee, "Optimal Welding Condition of Dissimilar Friction Welded Materials and Its Real Time Evaluation by Acoustic Emission", *Journal of The Korean Society of Industry Convergence*, vol. 22, pp. 191-199, (2019).
- [7] D. K. Kim, Y. S. Kong, J.K. Lee, "Evaluation on Dynamic Behavior of Friction Welded Joints in Alloy718 to SCM440 using Acoustic Emission Technique", *Journal of The Korean Society of Industry Convergence*, vol. 22, pp. 491-497, (2019).

(접수: 2021.04.12. 수정: 2021.05.10. 게재확정: 2021.05.12.)