

오스테나이트계 스테인리스강의 감쇠능에 미치는 역변태 오스테나이트의 영향

Effect of Reversed Austenite on the Damping Capacity of Austenitic Stainless Steel

김영화* · 성지현** · 강창룡***†
Young-Hwa Kim*, Ji-Hyun Sung** and Chang-Yong Kang***†

(Received 22 November 2014, Revision received 06 February 2015, Accepted 06 February 2015)

Abstract: The influence of reversed austenite on the damping capacity in austenitic stainless steel with two phase of martensite and reversed austenite was investigated. The two phases of deformation induced martensite and reversed austenite was obtained by an reverse annealing treatment at 500°C~700°C for various time after 70% cold rolling. With an increase of the reverse annealing treatment temperature and time, volume fraction of reversed austenite was rapidly increased. With an increase of volume fraction of reversed austenite, damping capacity was rapidly increased. At same volume of reversed austenite, damping capacity of reversed austenite obtained by reverse annealing treatment at 700°C for various time was higher then reversed austenite obtained by reverse annealing treatment at 500°C~700°C for 10min. Thus, the damping capacity was affected greatly by reversed austenite obtained by annealing treatment at 700°C for various time.

Key Words : Deformation induced martensite, Reversed austenite, Two phase, Damping capacity, Austenitic stainless steel.

1. 서 론

오스테나이트계 스테인리스강은 내식성과 가공성이 우수하여 내식성을 요하는 여러 산업분야에서 많이 사용되고 있지만 항복강도가 낮아 구조용 재료로서는 사용에 제한을 받고 있다. 따라서 강도를 높혀 사용범위를 확대하려는 많은 연구가 수행되어 오고 있다.¹⁻³⁾

이러한 강에서 강도를 높일 수 있는 방법은 가

공과 역변태 어닐링처리 하여 초 미세립의 오스테나이트 조직으로 만들거나²⁾, 마르텐사이트와 오스테나이트 조직이 함께 존재하는 2상 조직 강으로 만드는 방법³⁾ 등이 있다.

마르텐사이트와 오스테나이트의 2상 조직을 갖는 강은 제조는 가공온도와 가공량을 달리하는 가공에 의해 오스테나이트 조직의 일부를 마르텐사이트로 변태시켜 만들 수 있고, 가공에 의해 전부 마르텐사이트로 만든 다음 온도와 시간을 달

*** 강창룡(교신저자): 부경대학교 금속공학과

E-mail : metkcy@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6346

*김영화 : 포스코

**성지현 : 동아대학교

*** Chang-Yong Kang(corresponding author) : Department of Metallurgical Engineering, Pukyong University.

E-mail : metkcy@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6346

*Young-Hwa Kim : POSCO

**Ji-Hyun Sung : Donga University.

리하는 역변태 어닐링처리에 의해 마르텐사이트의 일부를 오스테나이트로 변태시켜(역변태 오스테나이트) 만들 수 있다.³⁾ 그러나 제조방법이 달라지면 마르텐사이트와 오스테나이트 조직의 성상이 달라지게 되어 기계적 성질 뿐만³⁾ 아니라 감쇠능 등이 달라질 것으로 판단된다. 그러나 아직 이에 대한 연구가 폭넓게 수행되지 못하고 있다. 따라서 강도와 연성의 조합이 우수한 마르텐사이트와 오스테나이트가 함께 존재하는 2상 조직강을 여러 산업분야의 구조재로서 사용하기 위해서는 이에 대한 다양한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 고 Mn 오스테나이트계 스테인리스강을 가공 후 온도와 시간을 달리하는 역변태 어닐링처리에 의해 마르텐사이트와 오스테나이트의 2상 조직 강을 만든 다음 감쇠능에 미치는 역변태 오스테나이트의 영향을 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 시료

시료는 기존 스테인리스강에서 가격을 낮추기 위하여 Cr을 14%, Ni을 5%로 낮추는 대신에 Mn이 6% 첨가되어 있는 오스테나이트계 스테인리스강의 공시재를 사용하였다. 이를 70% 냉간압연하여 오스테나이트 조직의 97% 이상을 마르텐사이트 조직으로 만들어 시료로 사용하였다. 시료의 화학조성을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of specimens(wt.%)

C	S	P	Si	Mn	Ni	C	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 역변태 어닐링처리

마르텐사이트와 역변태 오스테나이트가 함께 존재하는 2상 조직강은 2가지 방법의 역변태 어닐링처리를 행하여 오스테나이트 조직의 성상을 달리 하였다. 즉, 냉간압연에 의해 97% 이상의 마르텐사이트를 갖는 시료에 대하여 500℃에서 70~0℃ 사이의 여러 온도에서 각 10분 역변태 어닐링 처리하는 방법과, 700℃의 온도에서 최대 10분 까

지 시간을 달리하는 역변태 어닐링처리를 하였다.⁴⁾

2.3 미세조직의 정성 및 정량 분석

냉간압연한 시료의 미세조직은 광학현미경과 투과전자현미경(Hitach, 200kV)으로 관찰하였다. 또한 냉간가공 후 온도와 700℃에서 시간을 달리 하여 역변태 어닐링처리한 시료의 미세조직도 투과전자현미경으로 관찰하였다. 한편 역변태 어닐링처리한 시료에서 오스테나이트의 체적분율은 Cu-Kα선을 사용하여 2θ를 10° ~ 80° 범위로 정하여 1°/min의 속도로 X-선 회절시험 하였을 때 얻은 회절선도로부터 각 상에 해당하는 상대적분강도 값을 사용하여 구하였다.⁵⁾

2.4 감쇠능 측정

감쇠능은 70% 냉간가공한 시료로 부터 방전가공에 의해 2×20×120 mm 크기의 시험편으로 만든 다음, 온도와 700℃에서 시간을 달리하는 역변태 어닐링처리 후 횡 형 진동법을 이용하는 진동감쇠능 측정장치(진공이화학, IFT-1500)를 사용하여 측정하였다. 이 방법은 시험편에 진동을 가한 후 시간에 따른 진동의 진폭 변화를 potentiometer로 감지하고, 이를 증폭기와 A/D converter를 통하여 digital 신호로 변환시켜 컴퓨터에 입력한 후 noise는 filtering 하여 제거한 다음 분석된 결과를 계산용 프로그램에 입력하여 strain에 따른 대수감쇠율($\delta=1/n \ln A_0/A_n$, 여기서 n: 파수, A₀: 최초 파의 진폭, A_n: n번째 파의 진폭)을 구하는 방법이다.⁶⁾

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세조직

Fig. 1은 Cr을 14%, Ni을 5%로 낮추는 대신에 6%의 Mn이 첨가되어 있는 스테인리스강을 상온에서 70% 냉간압연 하였을 때의 미세조직을 광학현미경으로 나타낸 것이다. 오스테나이트 조직이 가공에 의해 97% 이상 마르텐사이트 조직으로 변태되어 있는 것을 알 수 있다.

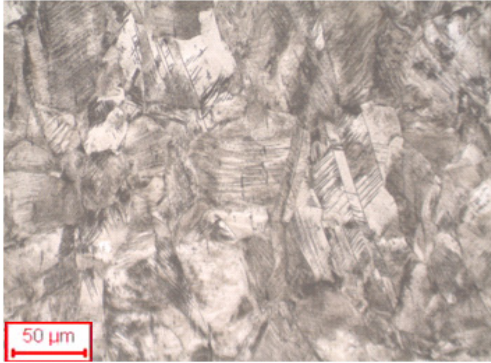


Fig. 1 Optical micrograph of 70% cold rolled austenitic stainless steel

Fig. 2는 30% 냉간압연 한 시료의 미세조직을 투과 전자현미경으로 나타낸 것으로 a)는 명시야상, b)는 암시야 상이므로 나타낸 것이며, c)는 명시야와 암시야상에서 나타낸 상의 제한시야 회절 패턴(SADP)과 이를 분석한 결과를 함께 나타낸 것이다. BCT결정 구조를 갖는 밴드형상의 α' -마르텐사이트가 특정한 방향성을 띄고 생성되어 있는 것을 알 수 있다.⁴⁾ 따라서 이 결과로부터 가공에 의해 오스테나이트의 일부가 마르텐사이트로 변태되고 있는 것을 알 수 있다.

3.2 역변태 오스테나이트의 거동

Fig. 3은 70% 냉간압연한 시료를 550°C와 650°C에서 10분 역변태 어닐링처리 하였을 때의 미세조직을 투과 전자현미경으로 나타낸 것이다. 두 시료가 동일하게 가공에 의해 생성된 마르텐사이트와 0.2 μm 크기 이하의 역변태 된 초 미세립 오스테나이트가 함께 존재하고 있는 2상 조직으로 되어 있는 것을 알 수 있다. 또한 역변태 어닐링처리 온도가 높아지면 역변태 된 오스테나이트의 양이 많고, 결정립 크기가 크며, 가공에 의해 도입된 전위 등의 밀도가 낮아지고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 70% 냉간가공 한 다음 700°C 온도에서 2분 및 8분 역변태 어닐링처리 하였을 때의 시료의 미세조직을 투과전자현미경으로 나타낸 것이다. 역시 두 시료가 동일하게 가공에 의해 생성된 마르텐사이트와 역변태 된 초 미세립 오스테나이트가 함께 존재하고 있는 2상 조직으로 되어 있는 것을 알 수 있다. 또한 어닐링처리 시간이 길어지면 가공에 의해 도입된 전위 밀도가 낮아지고, 오스테나이트의 결정립 크기도 커지고, 양도 많아지고 있는 것을 알 수 있다. 뿐만 아니라 Fig. 3과 4의 비교로부터 550°C와 650°C에서 10분

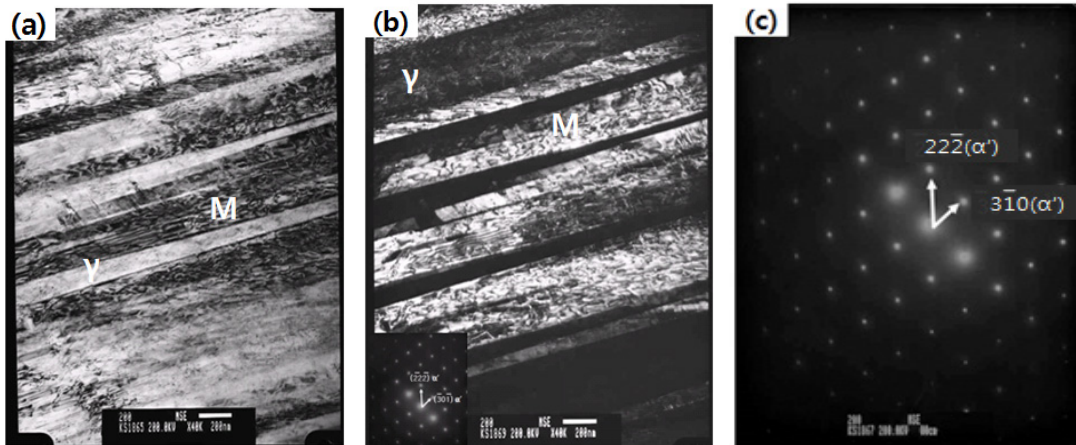
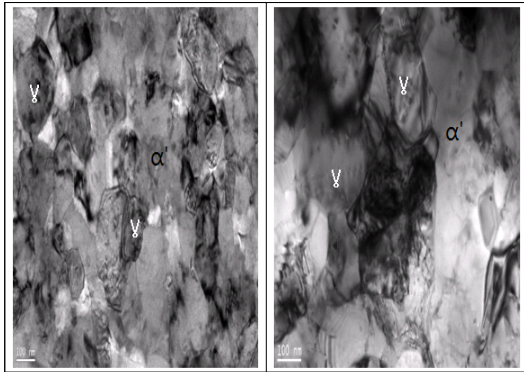


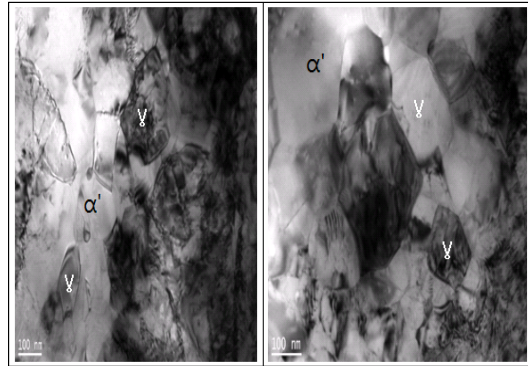
Fig. 2 TEM micrographs showing the deformation induced martensite in 30% cold rolled high manganese austenitic stainless steel

(a) Bright field (b) Dark field (c) SADP and Indexing of SADP(BCT), Z=[134]



a) 550°C b) 650°C

Fig. 3 TEM micrographs showing the effect of reverse annealing temperature in 0% cold rolled austenitic stainless steel.



a) 2 min. b) 8 min.

Fig. 4 TEM micrographs showing the effect of reverse annealing time at 700°C in 70% cold rolled austenitic stainless steel

역변태 어닐링처리한 경우보다 700°C에서 2분 및 8분 역변태 어닐링 처리한 경우가 전위 등과 같은 결함의 밀도가 낮고, 역변태 된 오스테나이트의 결정립 크기도 큰 것을 알 수 있다.

이상의 투과전자현미경 관찰로부터 역변태처리 조건에 따라 역변태된 오스테나이트의 양, 결정립 크기, 전위밀도 등이 달라지고 있으며, 이러한 변화는 감쇠능에 미치는 영향도 달라질 것으로 판단된다.

Fig. 5는 어닐링처리 온도에 따른 오스테나이트

의 역변태 거동을 조사하기 위하여 70% 냉간압연한 시료를 500에서 700°C 사이의 온도에서 10분 어닐링처리 하였을 때 역변태 된 오스테나이트의 체적분율을 나타낸 것이다. 어닐링처리 온도가 높아짐에 따라 역변태 된 오스테나이트의 양이 빠르게 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

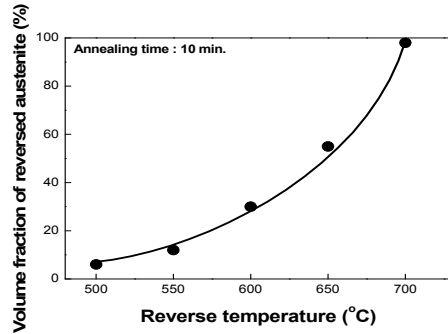


Fig. 5 Effect of reverse annealing temperature on the volume fraction of reversed austenite in 70% cold rolled austenitic stainless steel.

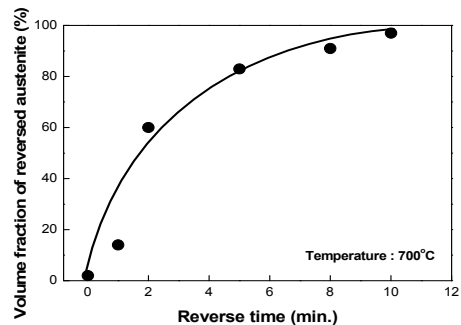


Fig. 6 Effect of reverse annealing time on the reversed austenite in 70% cold rolled austenitic stainless steel.

Fig. 6은 70% 냉간압연한 시료를 700°C에서 10분 까지 시간을 달리하는 어닐링처리 하였을 때, 역변태 된 오스테나이트의 체적분율을 조사하여 나타낸 것이다. 어닐링처리 시간이 증가함에 따라 역변태 된 오스테나이트의 양이 빠르게 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 마르텐사이트와 역변태 오

스테나이트가 함께 존재하는 2상 조직을 갖는 강은 적절한 온도와 시간을 달리하는 역변태 어닐링처리에 의해 제도가 가능함을 알 수 있다.⁴⁾

3.3 감쇠능에 미치는 역변태 오스테나이트의 영향

Fig. 7은 냉간가공한 다음 온도를 달리하여 역변태 어닐링 처리한 시료의 감쇠능을 조사하여 나타낸 것이다. 어닐링처리 온도가 증가함에 따라 내부마찰계수가 서서히 증가하다 온도가 550℃보다 높아지면 빠르게 증가하고 있는 것을 알 수 있고, 이는 어닐링처리 온도에 따른 오스테나이트의 역변태 거동과 비슷한 것을 알 수 있다.

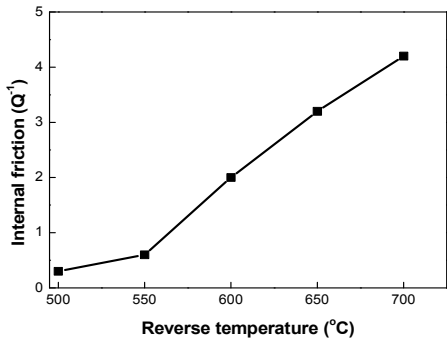


Fig. 7 Effect of reverse temperature on the internal friction of cold rolled high manganese austenitic stainless steel

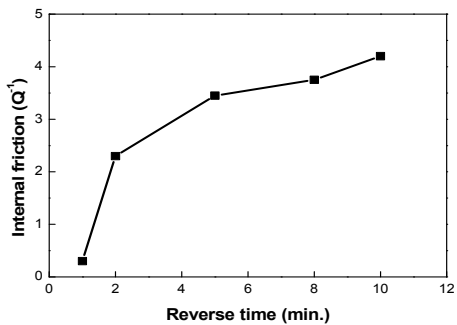


Fig. 8 Effect of reverse time on the internal friction of 70% cold rolled high manganese austenitic stainless steel

Fig. 8은 냉간가공한 다음 700℃에서 시간을 달리하여 역변태 어닐링처리한 시료의 감쇠능을 조사하여 나타낸 것이다. 어닐링처리 시간이 증가함에 따라 내부마찰계수는 빠르게 증가하다 5분이상이 되면 서서히 증가하고 있는 것을 알 수 있고, 이러한 거동도 어닐링처리 시간에 따른 오스테나이트의 역변태 거동과 비슷한 것을 알 수 있다.

이상의 결과로 부터 온도와 700℃에서 시간을 달리하여 역변태 어닐링처리한 시료의 감쇠능은 역변태 된 오스테나이트에 크게 영향을 받고 있다는 것을 알 수 있다.

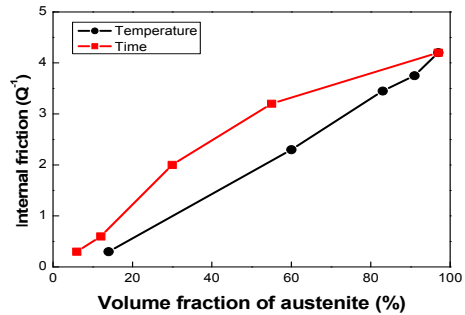


Fig. 9 Effect of reversed austenite on the internal friction of high manganese austenitic stainless steel

Fig. 9는 냉간가공 후 온도와 700℃에서 시간을 달리하는 역변태 어닐링처리에 의해 마르텐사이트와 역변태 오스테나이트가 함께 존재하는 2상 조직을 갖는 강을 만든 다음 감쇠능에 미치는 역변태 오스테나이트의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 감쇠능은 두 경우 모두 역변태 오스테나이트의 양이 증가함에 따라 빠르게 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 이유는 마르텐사이트는 내부에 전위 등의 많은 결함들이 존재하고 있기 때문에 이들의 상호 작용으로 인하여 전위 이동이 어렵게 되고 그 결과 진동에너지를 쉽게 소실할 수 없어 감쇠능이 낮다. 그러나 역변태 어닐링처리에 의해 오스테나이트로 되면, 오스테나이트는 마르텐사이트 보다 전위 밀도가 낮아 전위 이동이 용이하여 진동에너지를 쉽게 소실 할 뿐

만 아니라 오스테나이트에는 쌍정과 적층결함 등이 존재하고 있어 이들이 진동에 의해 쉽게 이동하면서 진동에너지를 소실할 수 있어 감쇠능이 높아지기 때문이라 판단된다⁷⁾. 또한 감쇠능이 동일 오스테나이트량에서 온도를 달리하여 역변태 어닐링처리 한 경우보다 700℃에서 시간을 달리하여 역변태 어닐링처리 한 경우가 더 높은 것을 알 수 있다. 이는 온도를 달리하여 역변태 어닐링 처리한 경우는 500℃에서 700℃ 사이의 온도에서 10분, 시간을 달리하여 역변태 어닐링처리한 경우는 700℃에서 10분까지 시간을 달리하여 어닐링 처리 하였다. 따라서 Fig. 3과 4에서 알 수 있는 바와 같이 온도를 달리하여 어닐링처리 한 경우보다 시간은 짧지만 700℃로 온도가 높아 가공에 의해 도입된 전위 등의 밀도가 낮아 전위이동이 용이해짐으로서 진동에너지가 쉽게 소실할 수 있기 때문이라 판단된다⁸⁾.

4. 결 론

가공유기 마르텐사이트와 역변태 오스테나이트가 함께 존재하는 2상 조직을 갖는 스테인리스강의 감쇠능에 미치는 역변태 오스테나이트의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 마르텐사이트와 오스테나이트가 함께 존재하는 2상 조직 강은 70% 냉간 압연한 다음, 500에서 700℃사이의 온도에서 시간을 달리하는 역변태 어닐링처리에 의해 얻어졌다.
2. 역변태 어닐링처리 온도가 높아질수록 그리고 시간이 길어질수록 역변태 오스테나이트의 양은 빠르게 증가 하였다.
3. 역변태 오스테나이트의 양이 증가함에 감쇠능은 대단히 빠르게 증가하였다.
4. 700℃에서 시간을 달리하여 역변태처리한 경우가 500에서 700℃ 사이의 온도에서 온도를 달리하여 10분 역변태 어닐링처리한 경우보다 동일 역변태 오스테나이트의 양에서 감쇠능은 높게 나타났다.
5. 700℃에서 시간을 달리하여 역변태 어닐링 처리하였을 때 얻어진 역변태 오스테나이트가 온

도를 달리하여 역변태 어닐링처리하였을 때 얻은 역변태 오스테나이트 보다 감쇠능에 더 크게 영향을 미쳤다.

References

1. D. Bhandarkar, V. F. Zackzy, Z. R. Paker, 1972, "Stability and Mechanical Properties of Some Metastable Austenitic Steel", Metallurgical Trans, 3, pp. 2619-2631.
2. Y. H. Kim, Y. S. Ahn, H. Y. Jeong, C. Y. Kang, B. H. Jeong, C. G. Kim, 1995b, Strength of Metastable Austenite Stainless Steels by Reversion Treatment, Journal of the Inst. of Met. & Mater., 33(11), 1431-1437.
3. Y. H. Kim and C. Y. Kang, 2013, Tensile Properties of High Mn Austenitic Stainless Steel with Two phase of Martensite and Austenite, J. of Ocean Engineering and Technology, 27(4), pp. 9-13
4. Y. H. Kim, J. H. Kim, T. H. Hwang, J. Y. Lee, C. Y. Kang, Effect of austenite on the mechanical properties in high manganese austenitic stainless steel with two phase of martensite and austenite, Metal and Material Inte, Submitted.
5. K. K. Jee, J. H. Han, W. Y. Jang, 2004, Measurement of volume fraction of ε martensite in Fe-Mn based alloys, Material Science and Engineering A 378, 319-322.
6. D. Birchon, E. Bromiey and D. Healey, 1968, "Mechanism of energy dissipation in high damping capacity manganese-wpeer alloy", Metal Science Journal, 2, pp. 41-46.
7. C. Y. Kang, 2012, "Effect of reverse transformation on the damping capacity in high Mn austenitic Stainless steel", The Korean Society for Power System Engineering, 16(4), pp. 60-65.
8. R. F. Mehl, 1948, Recrystallization, in Metals Handbook. American Society for Metal, Metal Park, Ohio