고 Mn 오스테나이트계 스테인리스강의 기계적 성질에 미치는 가공온도의 영향

강창룡* · 허태영* · 김영화* · 구차진* · 한현성** · 이상희***

*부경대학교 대학원 금속공학과

**한국폴리텍VII대학 동부산캠퍼스, 산업설비학과

***한국폴리텍VII대학 부산캠퍼스, 메카트로닉스과

Effect of Deformation Temperature on Mechanical Properties of High Manganese Austenitic Stainless Steel

Chang-Yong Kang*, Tae-Young Hur*, Young-Hwa Kim*, Cha-Jin Koo*, Hyun-Sung Han** and Sang-Hee Lee***

*Dept. of Metallurgical Engineering, Pukyong National University, Pusan, Korea

**Dept. of Industrial Fabrication, Dong Busan Campus of Korea Polytechnic VII, Pusan, Korea

***Dept. of Metallurgical, Busan Campus of Korea Polytechnic VII, Pusan, Korea

KEY WORDS: High manganese austenitic stainless steel 고 망간 오스테나이트계 스테인리스강, Deformation temperature 가공온도, Deformation induced martensite 가공유기 마르텐사이트, Stable of austenite 오스테나이트 안정도, Volume fraction of martensite 마르텐 사이트의 체적분율

ABSTRACT: This study was carried out to investigate the effect of the deformation temperature in high manganese austenitic stainless steel. α' -martensite was formed with a specific direction by deformation. The volume fraction of the deformation induced martensite was increased by increasing the degree of deformation and decreasing the deformation temperature. With the increase in the deformation, the hardness and tensile strength were increased, while the elongation was rapidly decreased at the initial stage of the deformation, and then gradually decreased. The hardness and tensile strength were increased and the elongation was decreased with a decrease in the deformation temperature. The hardness and tensile strength were strongly controlled by the volume fraction of martensite, but the elongation was controlled by the transformation behavior of the deformation induced martensite.

1. 서 론

Cr과 Ni의 양을 낮추는 대신에 Mn이 많이 첨가되어 있는 오스테나이트계 스테인리스강은 내식성, 인성 등이 우수한 기존 오스테나이트계 스테인리스강이 갖는 가격이 높은 문제를 해결하기 위해 개발된 강이다. 그러나 이 강 또한 항복강도가 낮아 해양플랜트 산업 등과 같은 여러 산업분야에서 구조용 재료로서는 다양하게 사용되지 못하고 있다.

이러한 강에서 강도 등을 높이는데 이용되는 마르텐사이트 조직은 냉각에 의해 마르텐사이트가 생성하는 Ms온도와 가공에 의해 마르텐사이트가 생성하는 Md온도 사이에서 가공하여 얻을 수 있고, 이러한 마르텐사이트를 가공유기 마르텐사이트(Deformation induced martensite)라 한다(Tomota et al., 1986).

오스테나이트 조직이 가공에 의해 마르텐사이트 조직으로 변태하는 거동은 그 재료가 갖는 오스테나이트 조직의 안정도에 지배되고, 오스테나이트 조직의 안정도는 화학조성과 변형온도 등에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Nohara et al., 1977; Kang and Sung, 1990; Nagy et al., 2004).

지금까지 가공유기 마르텐사이트 변태에 관한 연구는 상온에서 준안정 오스테나이트 조직을 갖는 오스테나이트계 스테인리스강 등에 대해서는 많은 연구가 수행되어 왔다(Shon et al., 2004 a ; Kang et al., 2007; Lee et al., 1997). 그러나 이들 강에서 Cr과 Ni의 양을 낮추는 대신에 Mn이 많이 첨가되면 이들 합금원소의 양이 달라지는데 기인되어 오스테나이트의 안정도가 달라지게 되고 그 결과 가공유기 마르텐사이트 변태의 거동도 달라짐에도 불구하고(Tomota et al., 1986) 가공유기 마르텐사이트 변태 거동을 연구한 논문은 많이 부족하다. 뿐만 아니라 가공온도가 달라지면 역시 오스테나이트의 안정도가 달라지는데 기인되어 가공유기 생성되는 마르텐사이트의 변태 거동도 크게 달라질 뿐만 아니라 이에 기인되어 기계적 성질도 크게 달라질 것으로 예상된다. 그러나 이러한 강에서 가공온도의 영향을 가공유기 마르텐사이트 변태 거동과 기계적 성질과 관련시켜 연구한 논문은 없다.

따라서 본 연구는 Cr과 Ni의 양을 낮추는 대신에 Mn이 많이 첨가된 오스테나이트계 스테인리스강에서 가공온도를 달리하여 가공한 다음 가공온도 변화에 따른 가공유기 마르텐사이트 변태 거동과 이에 따른 기계적 성질 변화를 조사하였다.

Table 1 Chemical composition of specimen (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. 실험방법

2.1 시료

시료는 18%Cr과 8%의 Ni를 갖는 대표적인 304계 오스테나이트 스테인리스강에 비해 Cr을 14%, Ni를 5%로 낮추는 대신에 비교적 가격이 낮은 Mn을 6% 첨가한 상온에서 오스테나이트 조직을 갖는 스테인리스강으로서 그 화학조성은 Table 1과 같다.

2.2 열처리 및 압연

시료는 먼저 1200°C온도로 가열하여 2~4.5mm 사이의 다양한 두께를 갖는 판재로 열간압연 하였다. 이를 산세 등의 과정을 거친 다음 진공로에서 1050°C로 가열 유지 후 급랭하는 용체화처리를 하였다. 다음 이를 -190°C, -50°C, 20°C, 50°C 및 100°C의 온도에서 두께에 따라 0~50%의 여러 압연율로 최종 2mm 두께의 판재가 되도록 압연하였다.

2.3 미세조직 관찰

용체화처리를 한 시료와 용체화처리 후 압연온도와 압연량을 달리하여 압연한 시료의 미세조직은 광학현미경으로 관찰하였다. 또한 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트 조직을 보다 상세하게 관찰하기 위해 시료를 Jet연마에 의해 박막으로 만들어서 투과전자현미경(Hitach, 200kV)으로 관찰 하였다.

2.4 X-선 회절시험

압연온도와 압연량 변화에 따른 미세조직의 체적분율 변화는 Cu-K α 의 특성 X-선을 이용하는 X-선 회절시험으로 측정 하였다. 이때 X-선 회절시험은 각 시료를 20~100° 사이의 각도를 2°/

Fig. 1 Optical micrograph of high manganese austenitic stainless steel ($\times 200$)

min의 속도로 하여 시험하였고, 이 때 얻은 회절선도로 부터 (111), (200)에 해당되는 피크의 상대 적분강도 값을 이용하여(Shon et al., 2004 b) 구하였다.

2.5 기계적성질 측정

용체화처리 한 시료와 용체화처리 후 압연온도와 압연량을 달리하여 냉간압연 한 시료의 인장성질은 시험편을 ASTM E-8의 규격으로 제작하여 Cross head speed를 2mm/min로 하는 인장시험에 의해 구하였다. 한편, 경도시험은 미소경도 시험기를 사용하여 1kg의 하중으로 측정 하였고, 경도값은 5회 측정하여 평균해서 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 가공유기 마르텐사이트 변태에 미치는 가공온도의 영향

Fig. 1은 Cr과 Ni의 양을 낮추고 Mn이 많이 첨가된 오스테나

Fig. 2 TEM micrographs showing the deformation induced martensite in 28% cold rolled high manganese austenitic stainless steel

a) 12%

b) 30%

Fig. 3 Optical micrographs showing the effect of degree of deformation in high manganese austenitic stainless steel

이트계 스테인리스강의 미세조직을 광학현미경으로 나타낸 것이다. Cr과 Ni의 양을 낮추는 대신에 Mn이 많이 첨가되어 있지만 오스테나이트계 스테인리스강과 동일하게 내부에 쌍정을 갖는 오스테나이트 조직으로 되어 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 2는 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트 조직을 보다 상세하게 관찰하기 위하여 상온에서 28% 냉간가공 한 시료의 미세조직을 투과전자현미경으로 관찰하여 나타낸 것으로 a)는 가

공에 의해 생성된 조직을 명시야 상으로 나타낸 것이고, b)는 명시야 상으로 나타낸 상의 제한시야 회절패턴(SADP)과 이를 분석하여 나타낸 것이며, c)는 암시야 상으로 나타낸 것이다. 가공에 의해 α -마르텐사이트가 방향성을 지니면서 밴드형상으로 생성되어 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트에 미치는 가공량의 영향을 알아보기 위하여 시료를 상온에서 가공량을 달리 하여 압연하였을 때의 미세조직을 광학현미경으로 나타낸 것이다. 가공량이 많아질수록 생성되는 마르텐사이트의 양이 많아지고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트에 미치는 가공온도의 영향을 알아보기 위하여 시료를 사진 a)는 100°C에서 27%, b)는 상온에서 28%, c)는 -196°C에서 28% 압연하였을 때의 미세조직을 광학현미경으로 나타낸 것이다. 가공온도가 낮아질수록 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트의 양이 많아지고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 여러 온도에서 가공량을 달리하여 압연 하였을 때 생성된 마르텐사이트의 양을 조사하여 나타낸 것이다. 가공량이 증가 할수록 가공온도에 관계없이 모두 비슷하게 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트의 양이 빠르게 증가하다 특정 가공량 이상이 되면 서서히 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 동일 가공량에서 가공유기 생성되는 마르텐사이트의 양은 가공온도가 낮아질수록 많아지고 있고, 동일 가공량에서 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트의 양이 많아지는 정도는 가공량이 많아질수록 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 가공온도가 낮아질수록 오스테나이트의 안정도가 낮아지기 때문에 가공에 의해 마르텐사이트로 쉽게 변태되기 때문이고, 이렇게 변태되는 정도는 가공량이 많아질수록 가공의 영향을 많이 받아 크게 나타나기 때문이다(Kang and Sung, 1990).

3.2 기계적성질에 미치는 가공온도의 영향

Fig. 6은 Mn이 많이 첨가된 오스테나이트계 스테인리스강의 정도에 미치는 가공온도의 영향을 알아보기 위하여 시료를 여러 온도에서 압연량을 달리하여 압연한 다음 경도값을 조사하여 나타낸 것이다.

가공온도에 관계없이 비슷하게 가공량의 증가와 함께 경도값은 빠르게 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 가공온도가 낮

a) 100°C (27%)

b) RT (28%)

c) -196°C (28%)

Fig. 4 Optical micrographs showing the effect of deformation temperature in high manganese austenitic stainless steel

Fig. 5 Effect of rolling temperature on volume fraction of martensite of high manganese austenitic stainless steel

Fig. 6 Effect of rolling temperature on the hardness of high manganese austenitic stainless steel

아질수록 동일 가공량에서 경도값은 높아지고 있고, 동일 가공량에서 경도값이 높아지는 정도는 가공량이 많아질수록 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유 역시 Fig. 5에서 알 수 있는 바와 같이 가공온도가 낮아질수록 오스테나이트의 안정도가 낮아지는데 기인되어 동일 가공량에서 마르텐사이트가 많이 생성되기 때문이고, 이러한 정도는 가공량이 많아질수록 더 크게 나타나기 때문이다(Kang and Sung, 1990).

Fig. 7은 인장강도에 미치는 가공온도의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 경도와 마찬가지로 가공온도에 관계없이 가공량의 증가와 함께 인장강도는 빠르게 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 인장강도는 동일 가공량에서 가공온도가 낮아질수록 높고, 동일 가공량에서 인장강도가 높아지는 정도는 가공량이 많아질수록 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유 역시 경도에서와 같다고 판단된다(Kang and Sung, 1990).

Fig. 8은 연신율에 미치는 가공온도의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 가공온도에 관계없이 가공량의 증가와 함께 연신율은 변형의 초기단계에서는 급격히 감소하지만 특정 가공량을 넘어서면 서서히 감소하고 있는 것을 알 수 있고, 이러한 거동은 Fig. 5에서 나타난 가공온도와 가공량에 따른 마르텐사이트의

Fig. 7 Effect of degree of rolling and rolling temperature on tensile strength of high manganese austenitic stainless steel

Fig. 8 Effect of degree of rolling and rolling temperature on elongation of high manganese austenitic stainless steel.

Fig. 9 Relationship between hardness and volume fraction of martensite in high manganese austenitic steel

변태거동과 비슷한 것을 알 수 있다. 따라서 연신율은 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트의 변태에 지배되는데 기인되어

(Shon et al., 2004 b) 변형의 초기단계에서는 급격히 감소하지만 특정 가공량 이상이 되면 서서히 감소하게 된다고 판단된다.

3.3 기계적성질과 가공유기 마르텐사이트와의 관계

Fig. 9는 고 Mn 오스테나이트계 스테인리스강에서 가공에 의해 생성된 마르텐사이트가 경도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 여러 온도에서 압연량을 달리하여 압연한 시료의 경도값과 마르텐사이트의 체적분율과의 관계를 조사하여 나타낸 것이다. 경도값은 가공온도에 관계없이 비슷하게 가공유기 생성되는 마르텐사이트의 양이 증가함에 따라 직선적인 비례관계로 증가하고 있는 것을 알 수 있다(Son et al., 2004 b ; Kang and Sung, 1990).

Fig. 10은 고 Mn 오스테나이트계 스테인리스강의 인장강도에 미치는 가공유기 생성된 마르텐사이트의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 경도와 마찬가지로 가공온도에 관계없이 비슷하게 인장강도는 가공유기 생성된 마르텐사이트의 양이 증가함에 따라 직선적인 비례관계로 증가하고 있는 것을 알 수 있다(Son et al., 2004 a ; Kang and Sung, 1990).

Fig. 11은 연신율에 미치는 가공유기 생성된 마르텐사이트의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 연신율은 가공온도에 관계없이

Fig. 10 Relationship between tensile strength and volume fraction of martensite in high manganese stainless steel.

Fig. 11 Relationship between tensile strength and volume fraction of martensite in high manganese stainless steel.

이 모두 비슷하게 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트의 양이 증가함에 따라 빠르게 감소하다가 서서히 감소하고 있는 것을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 경도와 인장강도가 마르텐사이트의 양이 증가함에 따라 직선적으로 증가하고 있는 결과로부터 가공유기 생성되는 마르텐사이트의 양에 강하게 지배되고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 연신율은 마르텐사이트의 양이 증가함에 따라 급격히 감소하다 특정 양 이상이 되면 서서히 감소하고 있는 결과로부터 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트의 양에 지배되는 것 보다는 가공유기 마르텐사이트의 변태거동에 지배되고 있다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

Mn이 많이 첨가된 오스테나이트계 스테인리스강의 기계적 성질에 미치는 가공온도의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 가공에 의해 α - 마르텐사이트가 방향성을 지니고 생성되었다.
- 2) 가공유기 생성되는 마르텐사이트의 양은 가공량이 증가할수록 급격히 증가하다 서서히 증가하였다. 또한 가공온도가 낮아질수록 많이 생성되었다.
- 3) 가공량이 증가함에 따라 경도 및 인장강도는 증가하는데 반하여, 연신율은 가공의 초기 단계에서는 급격히 감소하다가 서서히 감소하였다.
- 4) 가공온도가 낮아질수록 경도와 인장강도는 높고, 연신율은 낮게 나타났다. 또한 그 정도는 가공량이 많아질수록 크게 나타났다.
- 5) 인장강도와 경도는 가공에 의해 생성된 마르텐사이트에 지배되는데 반하여, 연신율은 가공유기 마르텐사이트의 변태거동에 지배되었다.

참 고 문 헌

- Kang C.Y. and Sung J.H. (1990). "Effect of Deformation Temperature, Strain Rate and Grain Size on the Tensile Strength of 304 Stainless Steel", Korean Soci. Heat Treatment, Vol 16, No 1, pp 187-197.
- Kang C.Y., Um J.H., Kim H.J. and Sung J.S.(2007), "Effect of Grain Size on the Damping Capacity of Fe-26Al-2Al Alloy", The Korea Soci. for Power System Eng., Vol 11, No 1, pp 115-120.
- Lee Y.K., Jun, J.H. and Choi C.S.(1997). "Damping capacity in Fe-Mn binary alloy", ISIJ International, 37, pp 1023-1029.
- Nagy, E., Mertinger, V., Tranta, F. and Solyom, J.(2004). "Deformation induced martensitic transformation in stainless steels, Materials Science and Engineering A, 378, pp 308-313.
- Nohara, K., Ono, Y. and Ohashi, N. (1977). "Composition and Grain Size Dependencies of Strain-induced Martensitic

- Transformation in Metastable Austenitic Stainless Steel", Iron and Steel, 63, pp 212-222.
- Shon, D.W., Kim, J.H., Kim, I.S., Miyahara, K., Sung, J.H. and Kang, C.Y.(2004, a). "Effect of ϵ Martensite on the Damping Capacity of Austenitic Stainless Steel", Korea J. of Met. & Mater., Vol 42, No 8, pp 621-625.
- Shon, D.W., Kang C.Y. and Sung, J.H. (2004, b). "Effect of Microstructure on the Damping Capacity and Strength in Fe-Al-Mn", SAE International, Vol 1, pp 745-750.
- Tomota, Y., Strum, M. and Morris, J.W.(1986). "Microstructural Dependence of Fe-high Mn Tensile Behavior", Metal. Trans., A, 17A, pp 537-543.
-
- 2012년 4월 5일 원고 접수
 2012년 5월 29일 심사 완료
 2012년 6월 21일 게재 확정