냉간압연한 고 Mn 오스테나이트계 스테인리스강의 기계적 성질에 미치는 서브제로처리의 영향

황태현 · 정목환 · 이종영 · 이항백 · 강창룡[†]
부경대학교 금속공학과

Effect of Subzero Treatment on the Mechanical Properties of Cold-Rolled High Manganese Austenitic Stainless Steel

T. H. Hwang, M. H. Jung, J. Y. Lee, H. B. Lee and C. Y. Kang[†]

Dept. of Metallurgical Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-739, Korea

Abstract The effect of subzero treatment on the mechanical properties of cold rolled high manganese austenitic stainless steel was investigated. α' -martensite was formed by cold rolling, and it was formed with surface relief and specific direction or crossing each other. The volume fraction of martensite increased by subzero treatment, and it was increased with longer time of subzero treatment and higher temperature of subzero treatment. The hardness and strength increased by subzero treatment, while the elongation decreased. With the increase of volume fraction of martensite, the hardness and strength was increased steeply with proportional relationship, elongation was decreased slowly. The results show that the hardness and strength was strongly controlled by the volume fraction of martensite, and the elongation was affected by transformation behavior of deformation induced martensite in the initial stage of deformation.

(Received July 9, 2012; Revised August 24, 2012; Accepted September 7, 2012)

Key words: Deformation induced martensite, High manganese austenitic stainless steel, Cold rolling, Volume fraction of martensite, Subzero treatment

1. 서 론

고 Mn 오스테나이트계 스테인리스강은 기존 오스테나이트계 스테인리스강이 갖는 가격이 높은 단점을 해결하기 위해 Ni와 Cr의 양을 낮추는 대신에 Mn을 많이 첨가하여 개발한 강이다. 그러나 이 강 또한 내식성, 가공성 등은 우수하지만 항복강도 등이 낮아 여러 산업분야에서 폭넓게 사용되지 못하고 있다. 때문에 마르텐사이트 조직을 이용하여 강도를 높여려는 연구들이 수행되고 있다[1-5].

그러나 이러한 강들은 오스테나이트 조직이 냉각에 의해 마르텐사이트 조직으로 변태하는 온도(Ms)가 저온보다 극히 낮은 온도에 있기 때문에 열처리에 의해 마르텐사이트 조직을 얻기 어렵다. 따라서 Ms 온도와 가공에 의해 오스테나이트 조직이 마르텐사이트 조직으로 변태하는 온도(Md 온도) 사이에서 가

공하여 마르텐사이트 조직을 얻고 있다[1, 6].

현재까지 상온에서 오스테나이트 조직을 갖는 강에서 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트에 관한 연구는 많이 수행되어 왔다[1-8]. 그러나 이러한 강에서 마르텐사이트 조직은 실온 이하의 비교적 낮은 온도에서 서브제로처리에 의해서도 생성될 것으로 예상되고, 서브제로처리에 의해 생성되는 마르텐사이트 또한 기계적 성질에도 영향을 미칠 것으로 판단되지만, 고 Mn 오스테나이트계 스테인리스강에서 이와 관련된 연구는 찾아볼수 없다. 따라서 본 연구는 Mn이 많이 첨가되어 있는 오스테나이트계 스테인리스강에서 기계적성질에 미치는 서브제로처리의 영향을 알아보기 위하여 냉간압연 하여 약 50% 정도의 가공유기 마르텐사이트 조직을 갖는 시료를 서브제로 처리 하여 미세조직변화와 기계적성질 변화를 조사하였다.

[†]Corresponding author. E-mail : metkcy@pknu.ac.kr

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	5.6	14.2	1.91	0.1	0.16

2. 실험방법

2.1 시료

시료는 기존 오스테나이트계 스테인리스강에 비해 Cr의 양을 약 14%, Ni의 양을 약 5%로 낮추는 대신에 Mn이 약 6% 정도 첨가되어 있는 상온에서 오스테나이트 조직을 갖는 스테인리스강으로서 그 화학조성을 Table 1에 나타내었다.

2.2 냉간 압연

가공유기 마르텐사이트 변태거동 및 서브제로처리 의 영향을 조사하기 위한 냉간압 연은 2~4 mm 사이의 두께를 갖는 시료에 대하여 0~50%의 여러 압연율로 압연하여 최종 2mm 두께가 되도록 냉간 압연 하였다.

2.3 미세조직 관찰

냉간압연 한 시료와 이를 서브제로처리 한 시료의 미세조직을 광학현미경으로 관찰하였다. 또한 냉간가 공에 의해 생성되는 마르텐사이트 조직의 보다 상세한 관찰을 위해 주사 전자현미경과 투과 전자현미경으로 관찰하였다. 이때 투과 전자현미경 관찰은 시료를 jet 연마에 의해 박막으로 만들어서 투과 전자현미경(Hitachi, 200 kV)으로 관찰 하였다.

2.4 서브제로처리

30% 냉간압연 한 시료의 서브제로처리는 -50°C와 -196°C의 온도에서 각 1시간 및 3시간 서브제로처리하였고, 가공도를 달리한 시료의 서브제로처리는 -196°C에서 3시간 서브제로처리 하였다.

2.5 X선 회절시험

냉간압연한 시료와 이를 서브제로처리 한 시료에서 각상의 체적분율은 Cu-K α 의 특성 X-선을 이용한 X선 회절시험에 의해 측정 하였다. 이때 X선 회절 시험은 각 시료에 대해 20~100° 사이의 각도를 1°/min의 속도로 회절시험하였고, 이때 얻은 회절선도로

부터 (111) γ 및 (200) α' 에 해당되는 회절피크의 상대 적분강도 값을 이용하여 각상의 체적분율을 구하였다[9].

2.6 기계적성질 측정

냉간압연한 시료와 이를 서브제로처리 한 시료의 인장시험은 ASTM E-8의 규격으로 시험편을 제작한 다음 변형속도를 2 mm/min로 하여 시험하였다. 한편, 경도값은 미소경도 시험기를 사용하여 1 kg의 하중으로 5회 측정 한 다음 평균하여 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 가공유기 마르텐사이트 변태

Fig. 1은 고 Mn 오스테나이트계 스테인리스강의 가공유기 마르텐사이트 변태거동을 알아보기 위하여 가공량을 달리하여 냉간압연 하였을 때 생성된 마르텐사이트의 체적분율을 조사하여 나타낸 것이다. 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트는 가공량의 증가와 함께 빠르게 증가하고 있고, 50% 냉간압연하면 약 80% 이상의 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태되는 것을 알 수 있다.

Fig. 2는 30% 냉간압연한 시료의 미세조직을 광

Fig. 1. Effect of degree of cold rolling on the volume fraction of martensite in cold rolled high manganese austenitic stainless steel.

Fig. 2. Micrographs of 30% cold rolled high manganese austenitic stainless steel a) Optical ($\times 200$), b) SEM.

학현미경과 주사전자현미경으로 나타낸 것이다. 냉간압연에 의해 오스테나이트 조직의 일부가 마르텐사이트 조직으로 변태되어 있는 것을 알 수 있다. 또한 주사전자현미경 사진인 b)로 부터 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트가 표면기복을 일으키면서 그리고 특정한 방향을 띄면서 생성되고, 일부는 서로 교차하면서 생성되어 있는 것을 알 수 있다 [2, 7].

Fig. 3은 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트를 결정학적 분석으로 알아보기 위하여 30% 냉간압연한 시료의 미세조직을 투과전자현미경으로 나타낸 것이다. 여기서 a)는 명시야 상으로 나타낸 것이고 b)는 명시야 상으로 나타낸 마르텐사이트 상의 제한시야 회절패턴(SADP)과 이를 분석하여 나타낸 것이며 c)는 암시야 상으로 나타낸 것이다. 가공에 의해 밴드형상의 α' -마르텐사이트가 생성되어 있는 것을 알 수 있다[7].

3.2 미세조직 및 기계적성질에 미치는 서브제로처리의 영향

Fig. 4는 미세조직에 미치는 서브제로처리의 영향을 알아보기 위하여 30% 냉간압연한 시료와 이를 -50°C 와 -196°C 에서 각 3시간 서브제로처리 하였을 때의 미세조직을 광학현미경으로 나타낸 것이다. 세 시료가 동일하게 오스테나이트 조직에 가공에 의해 생성된 마르텐사이트 조직이 함께 존재하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 광학현미경 조직으로서는 서브제로처리에 따른 미세조직의 변화는 알 수 없었다.

Fig. 5는 미세조직에 미치는 서브제로처리의 영향을 정량적으로 알아보기 위하여 30% 냉간압연한 시료와 이를 -50°C 와 -196°C 에서 각 1시간 및 3시간 시간을 달리하는 서브제로처리 하였을 때 마르텐사이트의 양을 조사하여 나타낸 것이다. 서브제로처리에 의해 오스테나이트의 일부가 마르텐사이트로 변태

Fig. 3. TEM micrographs showing the deformation induced α' -martensite in 30% cold rolled high manganese austenitic stainless steel: a) Bright field, b) SADP and Indexing of SADP, c) Dark field.

Fig. 4. Optical micrographs showing the effect of subzero treatments in 30% cold rolled high manganese austenitic stainless steel: a) No treatment, b) -50°C , 3 h, c) -196°C , 3 h.

Fig. 5. Effect of subzero treatment on the volume fraction of martensite in 30% cold rolled high manganese austenitic stainless steel.

Fig. 6. Effect of subzero treatment on the hardness in 30% cold rolled high manganese austenitic stainless steel.

되는데 기인되어 마르텐사이트의 양이 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 서브제로처리 시간이 길어질수록, 그리고 온도가 낮아질수록 서브제로처리에 의해 생성되는 마르텐사이트의 양은 많아지고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 30% 냉간압연한 시료의 경도에 미치는 서브제로처리의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 서브제로처리를 하면 경도가 약간 높아지고, 서브제로처리 시간이 길어질수록, 온도가 낮아질수록 경도가 높아지고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 30% 냉간압연한 시료의 인장강도에 미치는 서브제로처리의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 서브제로처리에 의해 인장강도는 높아지고, 서브제로처리 시간이 길어질수록 그리고 온도가 낮아질수록 인장강도가 높아지고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 연신율에 미치는 서브제로처리의 영향을

Fig. 7. Effect of subzero treatment on the tensile strength of 30% cold rolled high manganese austenitic stainless steel.

조사하여 나타낸 것이다. 서브제로처리에 의해 연신율은 낮아지고, 또한 서브제로처리 시간이 길어질수록

Fig. 8. Effect of subzero treatment on the elongation of martensite in 30% cold rolled high manganese austenitic stainless steel.

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

록, 온도가 낮아질수록 낮아지고 있는 것을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 서브제로처리 하거나, 서브제로처리 온도가 낮아질수록 그리고 시간이 길어질수록 경도와 강도는 증가하고 연신율은 감소하고 있는 것을 알 수 있고, 이러한 이유는 Fig. 5에서 알 수 있는 바와 같이 서브제로처리에 의해 마르텐사이트가 생성될 뿐만 아니라, 서브제로처리 시간이 길어질수록 그리고 온도가 낮아질수록 마르텐사이트가 많이 생성되기 때문이라 판단된다[10].

3.3 기계적성질에 미치는 마르텐사이트의 양

Fig. 9는 가공도를 달리하여 냉간가공한 다음 서

브제로처리 한 시료의 경도에 미치는 마르텐사이트의 영향을 조사하기 위하여 시료를 여러 압연율로 냉간압연 한 다음 -50°C와 -196°C에서 3시간 서브제로처리한 시료의 경도를 조사하여 마르텐사이트의 체적분율에 대해 나타낸 것이다. 마르텐사이트의 체적분율이 증가할수록 경도는 비례관계로 빠르게 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 10은 냉간가공 한 다음 서브제로처리 한 시료의 인장강도에 미치는 마르텐사이트의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 경도와 동일하게 인장강도는 마르텐사이트의 체적분율이 증가함에 따라 비례관계로 빠르게 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 11은 냉간가공 한 다음 서브제로처리 한 시

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

Fig. 11. Relationship between elongation and volume fraction of martensite in cold rolled high manganese austenitic stainless steel.

료의 연신율에 미치는 마르텐사이의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 연신율은 마르텐사이트의 양이 증가함에 따라 빠르게 감소하다 마르텐사이의 양이 특정량 이상이 되면 서서히 감소하고 있는 것을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 냉간가공한 다음 서브제로처리한 시료의 경도와 강도는 가공과 서브제로처리에 의해 생성된 마르텐사이트의 양에 크게 지배되고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 연신율은 마르텐사이트의 양보다는 가공초기에 일어나는 마르텐사이트 변태에 크게 영향을 받고 있다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

냉간가공된 고 Mn 오스테나이트계 스테인리스강의 기계적성질에 미치는 서브제로처리의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 냉간가공에 의해 α' -마르텐사이트 조직이 표면기복을 일으키면서 생성되었다. 또한 α' -마르텐사이트는 특정한 방향을 지니면서 생성되거나, 서로 교차하면서 생성되었다.
2. 마르텐사이트는 서브제로처리에 의해 생성되고, 서브제로처리 시간이 길어질수록, 온도가 낮아질수록 많이 생성되었다.
3. 서브제로처리에 의해 경도와 강도는 증가하고, 연신율은 감소하였다. 또한 서브제로처리 시간이 길어질수록, 온도가 낮아질수록 경도와 강도는 높아지

는데 반하여, 연신율은 감소하였다.

4. 마르텐사이트의 양이 증가함에 따라 경도와 인장강도는 비례관계로 증가하는데 반하여, 연신율은 빠르게 감소하다 특정량 이상이 되면 서서히 감소하였다.

5. 냉간가공후 서브제로처리한 시료에서도 경도, 인장강도는 마르텐사이트의 양에 지배되는데 반하여, 연신율은 가공 초기단계에 일어나는 마르텐사이트 변태에 지배되었다.

참고문헌

1. C.Y. Kang, T.Y. Hur : Korean J. Met. Mater., **50** (2012) 413.
2. T.Y. Hur, H.S. Hwan, S.H. Lee, C.Y. Kang : The Korea Soci. for Power System Eng., **8** (2012) 18.
3. T.Y. Hur, J.P. Wang, C.Y. Kang : J. of the Korean Society for Heat Treatment, **24** (2012) 271.
4. Y. Tomota, M. Strum, and J. Morris : Metal. Trans., **17A** (1986) 537.
5. Y.H. Kim, Y.S. Ann, H.Y. Jung, C.Y. Kang, B. H. Jung, C.G. Kim : J. of the Korean Inst. of Met. & Mater., **33** (1995) 1431.
6. H.C. Fiedler, B.L. Averbach and M. Cohen : Trans. of the ASM, (1954) 267.
7. G. Kurdjumov and G. Sachs : Z. Phys., **16** (1930) 325.
8. J.E. Truman : ISIJ Spec. Rep., **86** (1964) 84.
9. R.L. Miller : Trans, of the ASM, **57** (1964) 892
10. C.Y. Kang, K.H. Lee, H.R. Jung, G.H. Kim, B.S. Kim and I.S. Kim : Material Trans., **50** (2009) 2207.