

304 스테인리스 강의 가공유기 마르텐사이트와 기계적 거동에 미치는 온도의 영향

이상훈¹, 최점용², 남원종^{1,*}

Effects of annealing temperature on strain-induced martensite and mechanical properties of 304 stainless steel

S. H. Lee, C.Y. Choi, W. J. Nam

Abstract

Transformation of austenite to martensite during cold rolling has been widely used to strengthen metastable austenitic stainless steel grades. Aging treatment of cold worked metastable austenitic stainless steels, including α' -martensite phase, results in the further increase of strength, when aging is performed in 200 °C to 450 °C temperature range. The purpose of the present study was to evaluate the effect of time and temperature on the stress-strain behavior of cold worked austenitic stainless steels. The amount of α' -martensite during cold working and aging was examined by ferrite scope and X-ray diffraction (XRD). During aging at 450 °C for 1hr, tensile strength dramatically increased by 150MPa. Deformed metastable austenitic steels containing the "body-centered" α' -martensite are strengthened by the diffusion of interstitial solute atoms during aging at low temperature.

Key Words : Stainless steel, Strain induced martensite, Aging

1. 서론

가공에 의한 오스테나이트 조직에서 마르텐사이트 조직으로의 변태는 300 계 준 안정 오스테나이트 스테인리스 강의 강화 방법으로 널리 이용된다. 그러나 최근 냉간 가공된 오스테나이트계 스테인리스 강의 시효 열처리시 새로운 마르텐사이트의 생성으로 인해 강도가 상승한다는 여러 보고들이 있었다 [1-3]. 이전 연구들에 따르면, 400°C에서 열처리 시 최대의 강도를 나타내고 있으며, 또한 열처리로 인해 새롭게 생성되는 마르텐사이트의 양도 최대가 된다고 말한다 [1,2]. Mangonon 과 Thomas 는 열처리로 인한 마르텐사이트 양의 증가에 대해 Chukleb 과 Martynov 가 주장하는 기존의 α' 의 성장이 아니라 [1],

Fe-C 강에서의 마르텐사이트 형성과 같이 전단에 의한 새로운 α' 의 생성이 이루어 진다고 이야기 하며, 이를 TEM 을 통해 관찰하였다 [2]. 반면, MukhoPadhyay 는 마르텐사이트 생성은 시효 열처리 후 냉각하는 동안에 생성되며 [3], 이는 미세한 탄화물들의 석출로 인한 주변 기지의 크롬과 탄소의 결핍으로 인한 국부적 M_s 온도를 상승시켰기 때문이라고 말한다 [3,4].

Okamoto [5]는 가공 유기 변태 마르텐사이트를 갖는 스테인리스 강의 열처리 시 강도 상승 효과에 대한 다른 가설을 이야기 하였다. 많은 변형이 가해진 페라이트계 강은 저온 열처리 시 고용된 탄소나 질소의 확산에 의한 강도 상승이 일어나는데 이는 체심 입방구조를 가지는 가공 유기 마르텐사이트에도 적용될 수가 있다. 이

1. 국민대학교 신소재공학과

2. POSCO 기술연구소

교신저자: 국민대학교 신소재공학과, wjnam@kookmin.ac.kr

가설은 적은 양의 탄소를 가지는 페라이트계 강과 유사한 거동을 보이고 있는 저탄소 오스테나이트계 스테인리스 강에 해당하다.

냉간 가공에 의한 가공 유기 변태된 마르텐사이트를 갖는 스테인리스 강의 시효 열처리시의 강도 상승 효과에 대한 많은 연구가 진행되어 왔지만, 정확한 원인을 밝혀내지 못하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 냉간 가공된 오스테나이트계 304 스테인리스강의 열처리 온도가 미치는 강도의 영향을 살펴보고자 하였다. 또한 마르텐사이트의 양의 변화를 관찰함으로써 시효 열처리에 의한 강도 상승 효과의 원인을 분석하고자 한다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 POSCO에서 생산하는 STS 304의 시편을 사용하였다. STS 304의 화학조성은 0.057C, 0.033N, 0.376Si, 1.08Mn, 18.14Cr, 8.14Ni, 0.305Cu, 0.146Mo 이다. STS 304시편은 16%의 압화율로 3연속 냉간 압연을 실시하여 가공 유기 마르텐사이트의 양에 변화를 줄 수 있도록 하였다. 또한 온도에 따른 시효 효과를 보기 위하여 200°C에서 700°C사이의 온도에서 1시간동안 열처리를 실시하였다. 200~500°C는 염욕로를 사용하였고, 600~700°C는 박스로를 사용하였다.

인장시험은 초기 변형률 속도 $6.7 \times 10^{-4}/s$ 로 상온에서 시험하였으며, 마르텐사이트 양은 페라이트 스코프와 XRD를 통해 측정하였다. 페라이트 스코프를 통해 측정된 값은 아래의 식을 통해 마르텐사이트의 양을 나타낼 수 있다 [6].

$$\alpha' \text{-Martensite content} = 1.71 \times \text{Ferrite Scope reading}$$

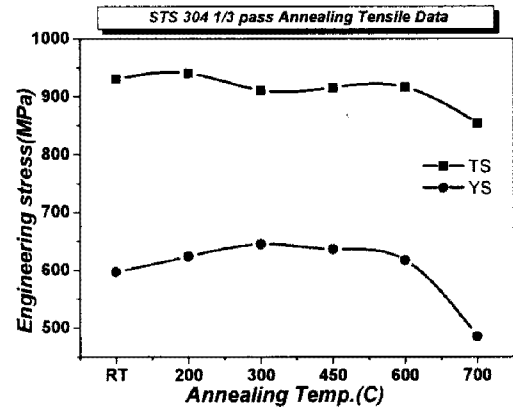
XRD분석은 Cu K α 타겟을 사용하였으며, 직접비교법(direct comparison method)을 통해 마르텐사이트의 양을 측정하였다 [7].

3. 결과 및 고찰

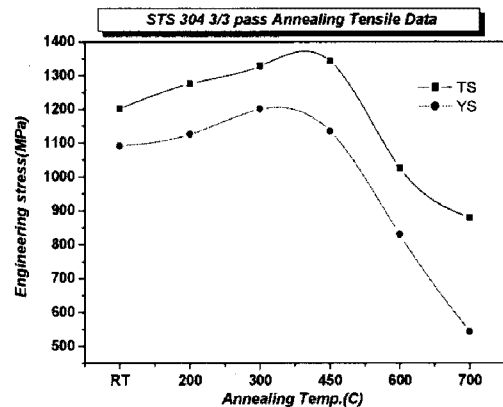
3.1 기계적 성질

Fig. 1은 3연속 압연 시 1pass/3pass 시편과 3pass/3pass 시편의 열처리 온도에 따른 강도변화를 보여주고 있다. 변형량이 0.17정도인 시편은

600°C 열처리 동안 별다른 강도의 변화를 나타내지 않고 있다. 그러나 700°C 열처리 시 급격한 강도의 감소를 나타내고 있는데 이는 500°C 이후 열처리 시 기존에 생성된 마르텐사이트의 역변태로 인하여 강도가 감소한다고 알려져 있다 [8].



(a)



(b)

Fig. 1 Effect of temperature on mechanical properties of STS 304. (a) strain 0.17, (b) strain 0.51

Fig. 1(b)에서 볼 수 있듯이 변형량이 0.51인 시편의 강도는 400°C까지 열처리 시 150MPa 정도까지 상승하고 있다. 이는 많은 변형이 주어졌을 경우 온도에 따른 뚜렷한 강도 상승 효과를 나타낸다는 것을 알 수 있다.

700°C에서 열처리 시 이전 온도 대비 항복 강도의 감소율은 큰 반면 인장강도의 감소율은 상대적으로 적게 나타나고 있다. 이러한 현상은 열처리 후 상온에서 인장 시험시 변형으로 인한

소량의 가공 유기 마르텐사이트 생성으로 인한 것으로 생각할 수 있다.

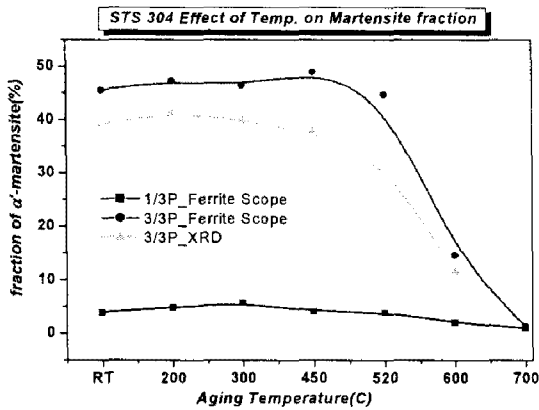


Fig. 2 Change in volume fraction α' -martensite with aging temperature. Samples aged 1hr.

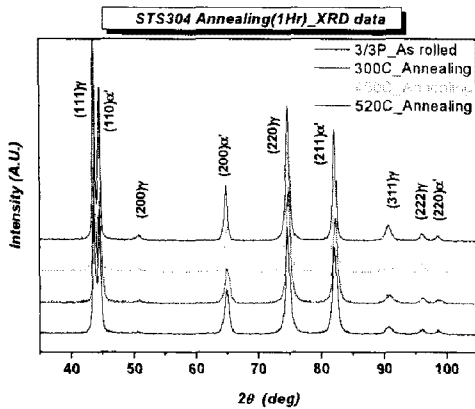


Fig. 3 XRD pattern using $\text{CuK}\alpha$ radiation of a type 304 stainless steel sample stained 40% showing the presence of α' -martensite and austenite phases.

열처리 온도에 따른 마르텐사이트 양의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 1Pass 압연한 시편의 경우, 상온에서의 마르텐사이트의 양은 3.9%로 열처리 온도가 증가하여도 마르텐사이트 양의 변화는 관찰할 수가 없다. 그러나 상온에서 압연 후 생성된 마르텐사이트의 양이 45.5%인 3Pass 압연재의 경우, 450°C 열처리 시 온도 증가에 따른 마르텐사이트 양의 변화는 나타나지 않는다.

이는 XRD를 통한 분율 측정시에도 유사한 결과를 나타내고 있다. XRD를 통한 마르텐사이트

양의 측정은 Fig. 3에서 보여지는 $(220)_{\gamma}$, $(311)_{\gamma}$, $(200)_{\alpha'}$, $(211)_{\alpha'}$ 피크를 통해 계산되었다.

Fig. 2는 400°C에서 열처리 시 강도 및 마르텐사이트의 양이 증가한다는 Mangonon이 주장하는 기존의 가설과는 상반된 결과를 보여주고 있다. 또한 500°C이상의 온도에서 열처리 시 급격한 마르텐사이트의 역변태로 인한 분율 감소를 관찰할 수 있다.

4. 결론

오스테나이트계 304 스테인리스 강을 냉간 압연하여 가공 유기 마르텐사이트가 생성된 후 열처리를 실시하여 가공 유기 마르텐사이트와 기계적 거동에 미치는 열처리 온도의 영향을 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 높은 변형량으로 인해 가공 유기 마르텐사이트의 생성이 많은 시편의 경우 200~400°C 열처리 시 강도의 상승을 확인할 수 있었다.
- (2) 열처리 후 냉각시 M_s 온도의 상승으로 인한 마르텐사이트가 생성된다는 기존의 가설과는 달리 200~400°C 열처리 시 마르텐사이트의 양은 별다른 변화 없는 것을 관찰할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] A. N. Chukhleb and V. P. Martynov, *Phys. Met. Metall.* 10, 80 (1960).
- [2] P. L. Mangonon, Jr. and G. Thomas, *Metall. Trans.* 1, 1587 (1970).
- [3] C. K. Mukhopadhyay, T. Jayakumar, K. V. Kasiviswanathan, and B. Raj, *J. Mater. Sci.* 30, 4556 (1995).
- [4] D.R. Harries, in "Proceedings of the International Conference on Mechanical Behaviour and Nuclear Applications of Stainless Steels at Elevated Temperatures", Varese, Italy, 20-22 May, 1981 (Metals Society, London, 1982) pp. 1-14.
- [5] S. Okamoto, D. K. Matlock, and G. Krauss, *Scripta Metall.* 25, 29, (1991).
- [6] J. Talonen, H. Hänninen, and P. Aspegren: Laboratory of Engineering Materials, Helsinki

University of Technology, Espoo, Finland,
unpublished research, 2004.
[7] B.D.Cullity; Elements of X-ray Diffraction, 2nd ed.,
Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Ma,

1978, pp.285-92, 351, 368, 411-15, 447-56, 508.
[8] B.R. Kumar, B. Mahato, N. R. Bandyopadhyay,
and D. K. Bhattacharya, *Metall. Mater. Trans. A*,
36A, 3165 (2005).