

TRIP형 저탄소 냉연강판의 기계적 성질

박 상 곤* · 최 일 동**

Mechanical Properties of TRIP-aided Low Carbon Cold-Rolled Steel Sheets

Sanggon Park* · Ildong Choi**

Abstract

This study is aimed at developing the high strength cold-rolled steel sheets with high ductility. The main emphasis of this study has been placed on understanding (1) the effects of Mn and Si (2) the effects of heat treatment (intercritical annealing and isothermal treatment) on the microstructure and mechanical properties of the cold-rolled steel sheets. Three kinds of 0.15C-Mn-Si cold-rolled steel sheets were prepared, and were intercritically annealed following isothermal treatment at bainitic region. Microstructural observation and tensile test were conducted, and also the volume fractions of retained austenite were measured.

In the case of the ECO-2 or ECO 3 steel sheet (high Mn content), the higher volume fractions of retained austenite were obtained than the ECO-1 steel sheet (low Mn content), but these steel sheets showed the same characteristics with a dual phase steel, such as continuous yielding, high tensile strength over 1,000 MPa, and low elongation about 20%. The lower Si/Mn ratio, the steel sheets had the stronger band structure and the lower ductility. Therefore, Si/Mn ratio must be high for the high ductility.

The volume fractions of retained austenite and the mechanical properties

* 한국해양대학교 재료공학과 석사과정

** 한국해양대학교 재료공학과 교수

of the steel sheet were changed dramatically by heat-treatment conditions. The volume fractions of retained austenite increased with decreasing intercritical annealing temperature and isothermal treatment temperature, resulting in the improvement of tensile elongation and strength-ductility balance (TS×El.) without deteriorating the yield or tensile strength. From the results of the present study, it is considered that the conditions (temperature and time) of intercritical annealing and isothermal treatment should be established in consideration of the stability of austenite with the solubility of alloying elements in the austenite formed during the intercritical annealing.

1. 서론

최근 고강도와 고연성을 동시에 가질 수 있는 강판으로써 소성변형 중 지지층의 잔류 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태함으로써 높은 강도와 연성을 보이는 TRIP(Transformation Induced Plasticity)형 복합조직 강판이 주목을 받고 있다¹⁻⁵⁾. 이제까지의 복합조직형 TRIP 냉연강판에 대한 연구는 주로 탄소함량이 0.2~0.4 wt.%인 강판을 대상으로 연구가 진행되어 왔는데, 이는 탄소함량이 낮아지면 높은 부피분율의 잔류 오스테나이트를 잔류시킬 수 없어 연성향상 효과가 작아지기 때문이다. 그러나 탄소함량이 높아지게 되면 강판에 요구되는 중요한 특성 중 하나인 용접성이 저하되는 결과를 초래하며, 열간압연 및 냉간압연 공정에서 압연성이 저하되는 결과를 초래한다.

한편, 환경부담을 최소화하기 위해 고강도와 고연성을 가지면서도 사용 후 재활용성을 높일 수 있는 강종의 개발에 대한 요구가 증대되고 있다. 이렇듯 환경에 대한 부담을 최소화하면서 자원 재생화율을 극대화할 수 있는 재료를 '환경조화재료'라고 칭하며 이에 관련된 기술을 '환경조화재료 기술'로 정의되고 있다⁶⁾. 환경조화형 철강재료의 재활용성을 극대화하기 위해서는 스크랩(scrap)의 수집과 분류 및 재용해 등의 후처리가 용이하도록 가능한 합금조성을 단순화할 필요가 있으며, 또한 사용분야 또는 목적에 따라 적절한 열처리 공정을 통해 고강도와 고연성을 가질 수 있어야 한다. 이에 따라 완전 재활용이 가능하면서도 다양한 열처리 공정을 적용하여 고강도-고연성을 실현할 수 있는 C-Si-Mn계 냉연강판의 개발에 대한 관심이 증대⁷⁻¹²⁾되고 있다. 강 중에 존재하는 C, Si, Mn 성분은 잔류 오스테나이트의 형성에 유용한 역할을 하며

C > Si > Mn 순으로 그 효과가 크다고 알려져 있는데, 특히, 2% 정도의 Si은 항온변태처리시 베이나이트 영역에서 탄화물의 형성을 억제함으로써 잔류 오스테나이트 형성에 큰 기여를 하는 것으로 보고되고 있다^{13,14)}. 그러나 용접성 향상을 위해 탄소함량을 낮출 경우 다량의 안정적인 잔류 오스테나이트를 얻기 힘들다. 따라서 저탄소 C-Si-Mn계의 냉연강판에서 적절한 안정도를 가진 다량의 잔류 오스테나이트에 의한 연성향상 효과를 얻기 위해서는 C, Si, Mn 등 합금성분의 적절한 조합과 함께 합금성분이 상(相) 형성에 미치는 효과를 최대한으로 활용할 수 있는 열처리 조건을 설정할 필요가 있다.

본 연구에서는 용접성, 압연성 및 스크랩 재활용성의 향상을 위해 탄소함량이 0.15wt.%인 저탄소의 C-Si-Mn계 냉연강판에서 잔류 오스테나이트에 의한 강도-연성향상을 도모하기 위하여 이상역열처리 및 추가적인 항온변태처리를 하였을 때 냉연강판의 기계적 성질, 미세조직 및 잔류 오스테나이트의 부피분율에 미치는 Si와 Mn 합금성분의 영향과 열처리 조건(이상역열처리 온도, 항온변태처리 시간 및 온도)에 따른 영향에 대해 연구하였다.

2. 실험 방법

시험편 제조는 진공유도용해로에서 25kg 용량으로 전해철과 Fe-Mn, Fe-Si 등의 합금철을 이용하여 용해하였으며, 봉상의 고순도 알루미늄으로 탈산을 하였다. 각 강종에 대해 성분 분석한 결과의 화학조성을 표 1에 나타내었다.

진공주조된 강괴는 열간압연과 냉간압연을 하여 두께 1 mm의 냉간압연 강판을 제조하였다. 인장시험편은 냉간압연 강판으로부터 ASTM E 8M 95 규격에 규정되어 있는 subsize 형태로 시험편의 길이방향이 압연방향과 일치하도록 가공하였다.

이상역열처리 및 항온변태처리 조건을 설정하기 위하여 각 강종에 대한 A_{C1} , A_{C3} 온도를 dilatometer를 이용하여 측정하였으며, M_s 온도는 Andrews의 식을 이용하여 계산하였다. 측정된 각 강종의 A_{C1} , A_{C3} 및 M_s 온도에 대한 측정결과는 표 2에 나타내었다.

열처리 조건에 따른 잔류 오스테나이트 부피분율과 기계적 성질변화를 조사하기 위해 이상역열처리온도와 항온변태처리온도와 시간을 달리하여 열처리하였다. 가공된 인장시험편은 염색료를 사용하여 열처리하였다. 열처리 조건은 TRIP형 냉연강판에 대한 최근의 연구보고를 참고하여, 각 냉연강판에 대해 이상역열처리는 $(A_{C1} + A_{C3})/2$ 인 온도와 페라이트 : 오스테나이트 부피분율이

40 : 60 정도가 되는 온도에서 5 분간 하였으며, 항온변태처리 온도는 M_s 온도를 기준으로 M_s 온도에서부터 ($M_s + 50$) $^{\circ}C$ 까지의 온도내에서 선택하여 높은 온도에서 각각 1~20 분간 열처리한 후 공냉하였다.

각 강종의 열처리에 따른 기계적 성질은 인장시험기(INSTRON Model 4209)를 사용하여 측정하였다. 상온에서 분당 2 mm의 crosshead speed로 인장하였으며, 항복강도와 인장강도, 파단시까지의 인장연신율을 측정하였다.

각 냉연강판의 열처리된 시료의 미세조직은 압연방향과 일치하도록 시편을 절단하여 연마한 후 에칭하여 광학현미경, 주사전자현미경(SEM)을 사용하여 관찰하였다. 본 연구에서는 미세조직의 구성상들을 구분하기 위하여 4% nital 용액으로 1차 에칭한 후 10% sodium metabisulfite 용액($Na_2S_2O_3 \cdot H_2O$ 10g + H_2O 100ml)으로 시편을 재차 에칭하는 방법을 병용하였다. 10% sodium metabisulfite 용액으로 시편을 에칭하여 광학현미경으로 관찰하면 페라이트는 회색, 베이나이트 및 마르텐사이트는 검은 색, 그리고 잔류 오스테나이트는 흰색으로 나타나기 때문에 구성상의 구분이 용이하다.

화학조성 및 열처리 조건에 따른 잔류 오스테나이트의 부피분율은 X-선 회절분석기(XRD)를 이용하여 측정하였다. XRD 분석용 시료는 열처리된 냉연강판을 두께가 1/2이 되도록 기계적 연마와 화학적 연마를 하여 준비하였으며, 화학적 연마는 (5% HF+95% H_2O_2)용액을 이용하였다. XRD 분석은 Mo- K_{α} 특성선을 이용하였으며, 회절에 의해 얻어진 페라이트와 오스테나이트 peak의 적분강도로부터 식 (1)을 이용하여 잔류 오스테나이트의 부피분율을 계산하였다.

$$V_{\gamma} = 1.4 I_{\gamma} / (I_{\alpha} + 1.4I_{\gamma}) \quad (1)$$

식 (1)에서 I_{γ} 는 오스테나이트 상에 대한 $\{220\}_{\gamma}$, $\{311\}_{\gamma}$ peak에서 얻어진 평균 적분강도값이며, I_{α} 는 페라이트 상에 대한 $\{211\}_{\alpha}$ peak로부터 구한 적분강도값이다.

3. 결 론

본 연구에서는 재활용성과 용접성 향상을 주목적으로 합금 설계된 세 강종의 저탄소 냉연강판에 대하여 고강도와 고연성을 얻기 위한 Si과 Mn의 영향과 적절한 열처리 조건의 설정을 목적으로 이상역열처리, 항온변태처리, 미세

조직 조사, 기계적 성질 및 잔류 오스테나이트 분율측정 등을 실시하여 그 결과를 분석한 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기존의 TRIP형 고강도 냉연강판에 비해 낮은 탄소함량을 함유한 냉연강판임에도 불구하고 합금원소의 효과를 효율적으로 이용할 수 있는 적절한 이상역열처리와 항온변태처리 조건을 설정하여 고강도와 고연성을 얻을 수 있음을 확인하였다.
2. Mn의 함량이 높으면 잔류 오스테나이트 부피분율은 증가하나, 오스테나이트의 경화능 향상효과로 인해 냉각과정에서 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태되어 (페라이트 + 마르텐사이트) 이상조직강의 특성을 가지게 되어 인장강도는 증가하는 대신 연신율은 저하된다.
3. Si/Mn 비의 값이 작을수록 미세조직 내에 밴드조직이 강하게 형성되며, 밴드조직이 형성된 경우에는 연성향상의 효과가 적다. 따라서 주어진 탄소함량 조건에서 잔류 오스테나이트 부피분율의 증가와 이에 의한 연성향상 효과를 기대하기 위해서는 가능한 Si/Mn 비의 값을 높여 주는 화학적 조성으로 밴드조직이 형성되지 않도록 하여야 한다.
4. 항온변태처리 온도는 이상역열처리가 형성되는 초기 오스테나이트 부피분율과 오스테나이트내의 합금원소 함유량을 고려한 M_s 온도를 바탕으로 선정해야 한다. 항온변태처리를 400°C에서 10 분간하였을 경우 잔류 오스테나이트 부피분율이 12% 이상으로 높았으며, 이 때 인장강도는 730 MPa, 연신율이 34%로 강도-연성 balance가 25×10^3 MPa·% 정도의 우수한 기계적 성질을 보였다.
5. 이상역열처리온도는 합금성분과 이상역열처리가 형성되는 초기 오스테나이트 부피분율 및 안정도를 고려하여 선정해야 하며, 페라이트와 오스테나이트 부피분율이 50 : 50 정도되는 온도인 800°C에서 이상역열처리하였을 때 전반적으로 높은 부피분율의 잔류 오스테나이트를 얻을 수 있었으며, 이 때 강도의 큰 저하 없이 높은 연성향상 효과를 얻었다.

참 고 문 헌

1. K. I. Sugimoto, N. Ushi, M. Kobayashi, and S. I. Hashimoto : ISIJ Inter., 32 (1992) 1311
2. K. I. Sugimoto, N. Ushi, M. Kobayashi, and S. I. Hashimoto : Metall. trans. A, 23A (1992) 3085
3. H. C. Chen, H. Era, and M. Shimizu : Metall. Trans. A, 20A (1989) 437
4. S. K. Kim, H. C. Shin, J. H. Chung, and Y. W. Chang : J. Korea Inst. Met. & Mater., 36 (1998) 151
5. C. G. Lee and S. J. Kim : J. Korea Inst. Met. & Mater., 36 (1998) 1024
6. S. J. Kim and T. H. Lee : Research Report of MOST, Korea Inst. Machinery & Materials, Changwon (1996) 4
7. K. I. Sugimoto, M. Misu, M. Kobayashi, and H. Shirasawa : ISIJ Inter., 33 (1993) 775
8. Y. Sakuma, D. K. Matlock, and G. Krauss : Metall. Trans. A, 22A (1992) 1221
9. Y. Sakuma, D. K. Matlock, and G. Krauss : Metall. Trans. A, 22A (1992) 1233
10. W. C. Jeong, D. K. Matlock, and G. Krauss : Mater. Sci. & Eng., 165 (1993) 1
11. W. C. Jeong, D. K. Matlock, and G. Krauss : Mater. Sci. & Eng., 165 (1993) 9
12. N. C. Goel, J. P. Chakravarty, and K. Tangri : Metall. Trans. A, 18A (1987) 5
13. W. C. Leslie and G. C. Rauch : Metall. Trans. A, 9A (1978) 343
14. R. Le Houillier, G. Begin, and A. Dube : Metall. Trans. A, 2A (1971) 2645