한국소성가공학회 2009년도 추계학술대회 논문집 pp. 213~216

TRIP강에서 Al이 미세구조와 상변태에 미치는 영향

임남석[1] · 김성일[2] · 박찬경[#]

Effects of Al in TRIP steels on microstructure and phase transformation

N. S. Lim[1], S. I. Kim[2], C. G. Park[#]

Abstract

In this study, three cold-rolled TRIP steels containing different Al content (0.04wt%, 1.0 wt.% and 2.00wt%) were fabricated to understand the complex effects of Al in TRIP steel. The influences of Al on microstructural evolution of cold-rolled TRIP steels have been analyzed by using advanced analysis techniques, such as transmission electron microscope (TEM) and three dimensional atom probe tomography (3D-APT). TEM results revealed that second phases such as bainte and retained austenite decrease with increase of Al content. In addition, 3D-APT was used to characterize atomic-scale distribution of alloying elements at the constituent phases. Through these analysis techniques, the advanced characteristics of constituent microstructure in TRIP steels were identified depending on Al contents in TRIP steels.

Key Words: TRIP steel, Al, Microstructure, 3D-APT

1. 서 론

변태 유기 소성강(TRamsformation Iinduced Plasticity steels, TRIP steel)은 우수한 강도와 연성을 동시에 보여주므로 자동차용 강재로써 널리 연구되고 있다. TRIP 현상은 1967년 Zackay에 의해 준안정 오스테나이트 스테인리스(metastable austenitic stainless)강에서 처음으로 보고 되었지만[1] 비싼 생산단가와 복잡한 제조공정으로 대량생산에는 제약을 받으므로 C-Mn-Si TRIP 강이 연구의 주를 이룬다. TRIP강에 포함된 Si은 세멘타이트 형성을 억제시키므로써 잔류 오스테나이트내 C의 농도를 증가시켜 잔류 오스테나이트의 안정성(Stability)을 향상 시킬 수 있다. 그러나 Si은 SiO_2 와 같은 산화물을 형성시킴으로써 용접성 및 도금성 저하라는 문제를 야기시킨다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 Si과 같이 효과적으로 카바이드 형성을 억제 할 수 있으면서도 용접성을 저하 시키지 않는 Al으로 대체하려는 연구가 활발하게 진행되고 있다[2]. 그러나 Al이 TRIP 강에서 미세구조에 어떠한 영향을 미치며 각 제조 공정 단계에서 정확하게 어떠한 분포 거동을 보이는지에 대해서는 연구가 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 Al을 0.04, 1.00, 2.00 wt.%로 달리하여 Al이 미세 구조에 미치는 영향과 상변태 과정에서 원소들의 분포 거동을 살펴보고자 하였다.

1. 포항공과대학교 신소재공학과
2. POSCO 기술연구소
포항공과대학교, 포항 나노센터(NCNT) E-mail: cgaprk@postech.ac.kr

2. 실험방법

본 연구에서는 표1과 같이 Al이 각각 0.04, 1.00, 2.00 wt.% 첨가된 세 개의 시편이 제조 되었다. 모든 시편은 페라이트와 오스테나이트가 공존하는 830℃의 이상영역에서 열처리과정을 거친 후 400℃에서 300초간 베이나이트 항온 변태 과정을 통해 제조되었다. TRIP강의 미세구조 및 페라이트 내 미세한 2차상들의 분포를 보기 위해 광학현미경 및 투과 전자현미경(JEOL-2100)이 사용 되었다. 잔류 오스테나이트의 상분율은 신뢰성 확보를 위하여 EBSD, XRD, 컬러 에칭 방법으로 측정 하였으며, 잔류오스테나이트내 평균 탄소함량을 측정하기 위해 XRD peak에 의한 적분강도로부터 계산하였다. 또한 각 구성상에서 용질 원소의 분포를 관찰하기 위해 3D-AP(Three dimensional atom probe)분석을 실시하였으며, 이를 위해 laser가 장착된 LAWATAP으로 60K의 실험 온도에서 3D-AP분석을 실시 하였다.

Table 1 Chemical composition (wt.%)

C	Si	Mn	Al	others
0.20	0.95	1.99	0.04, 1.00 2.00	N, P, S

3. 실험 결과

3.1. 미세구조 분석

Al 첨가량에 따라 TRIP강의 미세구조는 크게 변화하는 것을 그림1의 광학 현미경과 투과 전자 현미경 사진으로부터 알 수 있다. 실험 방법에서 언급한 것처럼 모든 제조 공정조건 및 다른 합금 성분들은 동일하므로, Al 첨가량이 미세구조에 영향을 미쳤음을 알 수 있다. Al 첨가량이 증가할수록 전체적인 기지(matrix) 페라이트의 크기가 증가하며 복잡한 미세구조를 갖는 것을 확인할 수 있다. 특이 할만한 점은 2.0wt.% Al이 첨가된 시편에서는 불연속적인 조대한 페라이트 밴드가 존재한다는 점이다. 또한 투과전자현미경 결과로부터 Al첨가량이 증가할수록 페라이트 기지내 2차상들의 밀도가 현저하게 감소하는 것을 확인 할 수 있다.

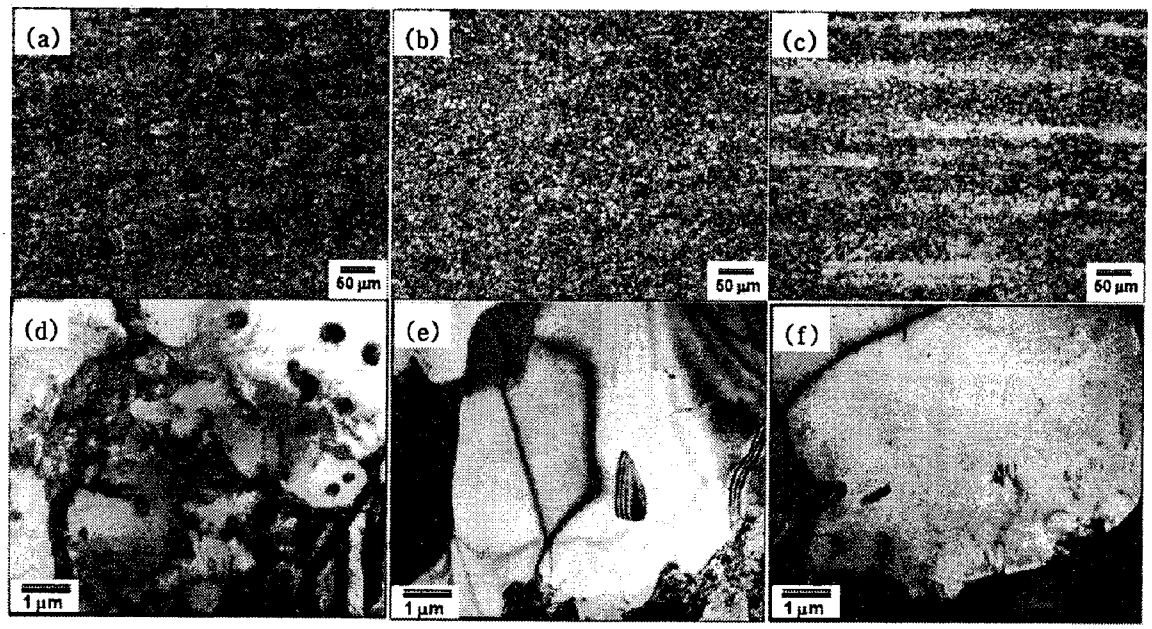

Fig. 1 Optical micrographs of (a) 0.05-Al, (b)1.00-Al and (c) 2.00-Al TRIP steels and TEM micrographs of (d) 0.05-Al (e) 1.00-Al and (f) 2.00-Al TRIP steels

3.2. Al 함량에 따른 잔류 오스테나이트의 분율과 잔류오스테나이트내 탄소 함량

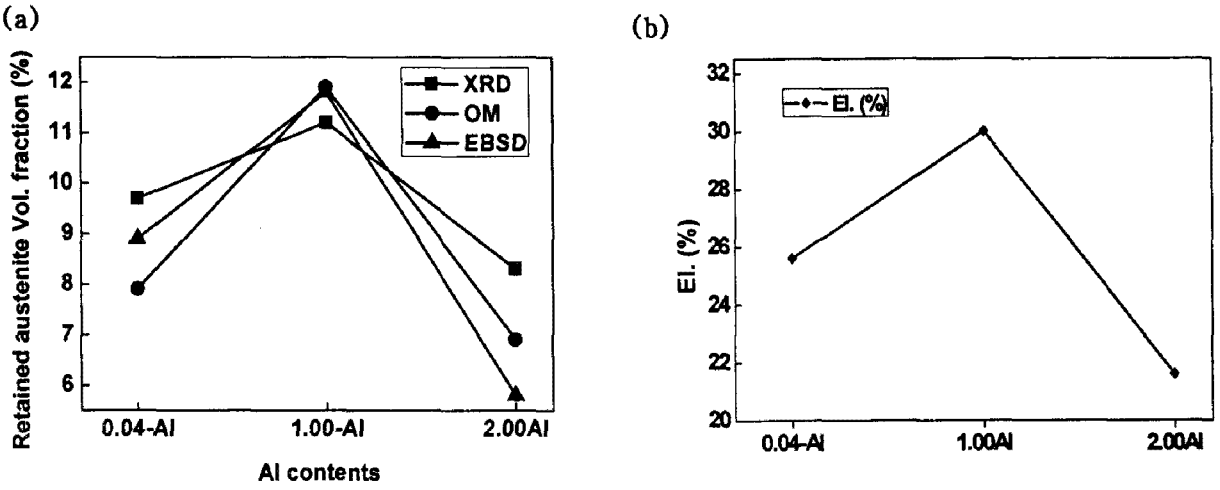

Fig. 2 (a)Volume fraction of retained austenite and (b) elongation property according to Al content.

위 그림2 (a)는 XRD와 EBSD 그리고 컬러 에칭 후 광학으로 분석한 잔류 오스테나이트의 분율을 보여주고 있다. 측정 방법 별로 잔류 오스테나이트 분율의 절대값은 약간의 차이를 보였지만 1.00-Al 에서 가장 큰 잔류오스테나이트의 부피 분율을 나타 내었고 이는 그림2 (b)에 나타난 연신율 결과와 잘 일치 하였다. Al 첨가량이 많을 수록 카바이드 형성을 효과적으로 억제하므로 여기서 나온 탄소들은 잔류 오스테나이트를 안정화 시켜 분율을 높이는데 기여하였을 것으로 사료된다. 그러나 2.00-Al TRIP에서는 불균일한 미세조직과 이상영역에서의 오스테나이트 영역 감소에 의해 오히려 Al 첨가량이 많아 졌음에도 불구하고 잔류 오스테나이트의 부피 분율이 줄어들었으며 이에 대한 분명한 해석을 위해서는 추가 연구가 필요하다고 생각된다. 그러나 이러한 결과로부터 잔류 오스테나이트의 분율을 최대화 시키는데 있어서 최적의 Al 첨가량 값이 존재함을 알 수 있다. 한편, XRD를 이용한 잔류 오스테나이트내 평균 탄소량을 측정한 결과 Al첨가량에 큰 영향을 받지 않고 약 1.1-1.3 wt. % 의 탄소를 함유하고 있었다.

3.3. APT 분석 결과

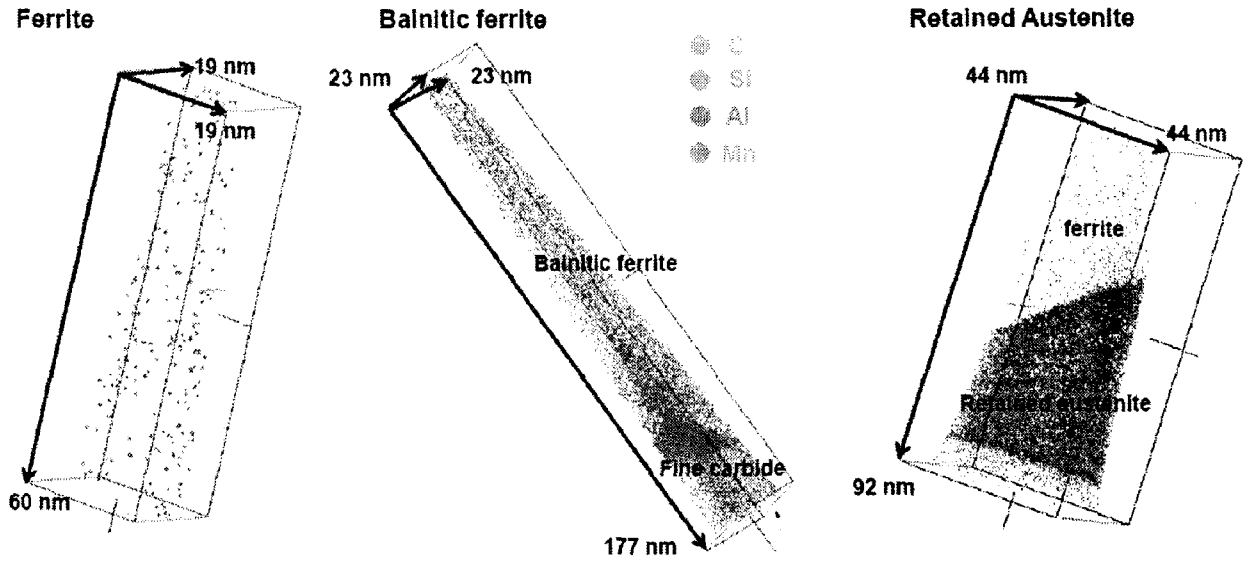

Fig. 3 Atom maps showing C distribution in ferrite, bainite and retained austenite in 0.04-Al respectively.

그림3은 탄소 함량에 근거하여 0.04-Al TRIP강에서 탄소 원자들의 분포를 보여 주는 3D-AP 결과이다. 베이나이트상에서는 미세한 시멘타이트가 존재하는 것을 확인할 수 있었으며, 이것은 미량 첨가된 Al은 카바이드 생성을 완전히 억제 하지 못하였기 때문으로 사료된다.

Table 2. Chemical composition range in ferrite, bainite retained austenite and carbide in 1.00-Al TRIP steels respectively (at.%)

	Ferrite	Bainite	Retained Austenite
C	0.03-0.06	0.25- 0.29	3.89-4.71
Mn	2.09-2.28	1.53-2.01	2.15-2.18
Si	1.95-2.26	2.01-2.14	1.94-2.01
Al	1.36-1.61	0.68-0.74	0.59-0.61

표2는 1.00-Al TRIP강에서 각 원소들의 농도를 상별로 표시하여 나타내고 있다. 표에서 살펴보면 페라이트와 잔류오스테나이트의 Al함량은 약 2배정도 차이가 나는 것을 확인 할 수 있는데 이것은 이상영역 열처리 과정에서 Al원소의 확산에 의한 분배가 일어난 것으로 추측된다. 그러나 Si의 경우 Al과 같은 치환형 원소(substitutional element) 임에도 불구하고 모든 상에서 큰 농도 차이를 보이지 않았다. 또한 베이나이트와 잔류오스테나이트의 경우 Al 함량에는 큰 차이가 없었는데 이는 베이나이트 항온 변태 과정에서 생성된 두 상의 경우 침입형 원소인 탄소 원자만이 베이나이트에서 잔류오스테나이트 쪽으로 확산하여 농축이되는 paraequilibrium 매커니즘을 따르기 때문으로 사료된다.

결 론

(1) Al 함량이 각각 0.05, 1.00, 2.00 wt.% 포함된 TRIP steel의 미세구조 분석 결과 Al 함량이 낮을수록 전체적으로 복잡하고 미세한 미세구조를 가지고 있었으며, 2.00-Al 의 경우 조대한 ferrite 밴드가 관찰되었다. 또한 Al 첨가량이 많을수록 페라이트내 2 차상의 개체수가 감소하였다.
(2) XRD, EBSD, 컬러 에칭 분석을 통하여 각 상에서의 잔류 오스테나이트의 부피 분율을 구한 결과 1.00-Al 에서 가장 높은 잔류 오스테나이트 분율을 갖는 것을 확인 할 수 있었지만 Al 함량에 따른 잔류 오스테나이트내 탄소 농도는 큰 영향을 받지 않았다.
(3) 탄소 함량에 근거하여 각 상에서 합금원소들의 분포를 정량화 할 수 있었고, 이를 통해 Al은 이상영역 소둔 열처리시 페라이트에서 오스테나이트로 확산되는 것을 확인 할 수 있었다.

후 기

본 연구가 진행되도록 연구비 지원과 분석을 지원해준 POSCO㈜ 기술연구소와, 포항 나노 집적 센터(NCNT)에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

[1] V. F. Zackay, E. R. Parker, D. Fahr, and R. Bush :Trans. ASM, 60 (1967), 252-259

[2] P. J. Jacques, E. Girault, A. Mertens, B. Verlinden, J. Van Humbeeck and F. Delannay, ISIJ Int. 2001,41(9),1068-1074.