

TAS (Total Analysis System)를 이용한 SB-TRIP강에서의 2-D & 3-D 미세구조 분석 연구

설재복¹, 임영록², 박찬경[#]

2-D & 3-D Observations on the microstructures of Super Bainitic TRIP Steels using Total Analysis System

J. B. Seol, Y. R. Lim, C. G. Park

Abstract

It has been widely reported that carbide-free bainitic steels or super-bainite TRIP (SB-TRIP) steels for the automotive industry are a new family of steels offering a unique combination of high strength and ductility. Hence, it is important to exactly evaluate the volume fraction of RA and to identify the 3-D morphology of constituent phases, because it plays a crucial role in mechanical properties. Recently, as electron back-scattered diffraction (EBSD) equipped with focused ion beam (FIB) has been developed, 3-D EBSD technique for materials science are used to these steels. Moreover, newly developed atom probe tomography (APT) technique can provide the exact distribution and chemical concentration of alloying elements in a sub-nm scale. The APT analysis results indicate exactly the distribution and composition of alloying elements in the austenite and bainite phases of SB-TRIP steels with the atomic-scale resolution. And thus, no partitioning of aluminum and manganese atoms was showed between the austenite containing 7.73 ± 0.39 at% C and the bainitic ferrite associated with 0.22 ± 0.06 at% C in the SB-TRIP steel.

Key Words : SB-TRIP steel, Atom probe tomography, 3-D electron back-scattered diffraction

1. 서 론

최근에 AHSS강의 인장강도를 크게 증가 시킨 XHSS급 강재인 Super Bainite TRIP (SB-TRIP)강은 Bhadeshia, Caballero 및 De Cooman등에 의해 연구가 진행 중이다 [1,2]. 일반 TRIP강은 페라이트를 기지로 하여 제조되지만 SB-TRIP강은 페라이트 기지가 아닌 베이나이트를 기지로 하고 2차상이 잔류오스테나이트로 존재한다. 이처럼 XHSS 강에 첨가되는 합금 원소들이 강종의 기계적인 성질에 미치는 영향은 많은 연구자들에 의해서 연구되고 관심의 대상이 되어 널리 연구되어 왔다. 그러나 각 강종의 기계적인 성질에 미치는 상의 분율을 측정하기 위한 연구는 매우 미비한 실정이다. 그 이유는 상들의 형상이 매우 비슷하고 복잡하기 때문이다. 그리고 기존 분석장비 한계로 인하여 강에 존재하는 각 상 (phase)에서의 용질 원소들의 정확한 분포 거동과 정량적인 함량 분석, 그리고 이를 기반으로 한 세밀한 연구는 거의 미비한 실정이다. 그러나 새롭게 개발된 3차원 원자침 분석기기 (Atom Probe Tomography, APT)는 이러한 연구를 가능케 하게 해준다. APT는 원자 단위에서 용질 원소들의 분포를 분석할 수 있을 뿐만 아니라 각 상 내에서 용질 원소들의 농도를 ppm 단위까지도 분석해낼 수 있기 때문이다 [3]. 아직까지는 이를 위한 시편 준비 기술, 분석 방법 등이 체계화, 최적화 되지 않았으므로 이에 대한 선행 연구가 요구된다. 또한, XHSS 급 자동차 강판 재료로 연구되는 SB-TRIP강에서는 잔류 오스테나이트의 분율 측정법을 표준화하는 방법이 요구되는 실정이고 3차원 결정립 형상 분석 또한 매우 중요하다고 사료된다.

따라서 본 연구에서는 Total Analysis System (TAS)를 이용하여 SB-TRIP강의 2차원 미세구조분석은 물론

1. 포항공과대학교(POSTECH), 신소재공학과

2. POSCO 기술연구소 박판 그룹

교신저자: 포항공과대학교(POSTECH), 포항나노기술집적센터(NCNT), E-mail: cgpark@postech.ac.kr

3차원 상 분석 및 정량 분석하는데 중점을 두었다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용된 SB-TRIP강의 조성을 Table 1에 나타내었다. 두 가지 강 종 모두 0.5wt.% C 이상의 중탄소강이며 열처리 공정은 Gleeble 3500 system을 이용하여 실시하였다. 시편을 A₁ 온도와 A₃ 온도 사이까지 열을 가한 후 30분 등은 유지하였으며 SB-TRIP (1) 강종은 300℃, SB-TRIP (2) 강종은 400℃에서 각각 베이나이트 변태 온도 구간에서 24시간 동안 등은 유지 후 급냉하였다.

강 중 잔류 오스테나이트 분율을 광학현미경, XRD 그리고 EBSD를 이용하여 측정하였으며 3차원 결정립 형상 분석은 hikari detector가 장착된 focused ion beam (NANOLAB)을 사용하였다.

3차원 원자 침 분석기기를 사용하기 위해 시편 준비는 일반적으로 사용되는 전해 연마 (Electro-polishing) 법과 집속 이온 빔 (Focused ion beam, FIB) 장비를 이용하여 탐침 형태의 시편을 제조하였다. 제조된 탐침 형태의 시편을 보른 원자들의 분포를 판단하기 위해서 분해능이 2nm에 해당하는 레이저가 탑재된 3차원 원자침 분석기 (laser assisted atom probe, CAMECA)로 분석하였다.

Table 1. Chemical compositions of investigated steels

Steel	C	Mn	Si	Etc.
SB-TRIP (1)	0.78	1.40	0.93	Al, Ti
SB-TRIP (2)	0.54	1.51	1.46	Al, Ti

3. 결과 및 고찰

3.1. SB-TRIP강의 2차원 미세 구조 분석

Fig 1-1의 TEM 분석 결과, SB-TRIP(1)강은 베이나이트를 기지로 lath (LB)와 interweaved (IB) 형상으로 시편 전체적으로 분포하였으며 다양한 잔류 오스테나이트 형상을 나타내었다. Fig 1-2은 SB-TRIP(2)강의 미세 구조를 나타내는 TEM 분석결과로, 베이나이트가 기지로 interweaved (IB) 형상으로 시편 전체적으로 분포하고 있으며 다양한 잔류 오스테나이트 형상을 나타냄을 보여준다.

3.2. SB-TRIP강의 3차원 결정립 형상 분석

Fig 2-1은 3차원 EBSD를 이용한 SB-TRIP강의 3차원 형상 분석 결과이다. SB-TRIP(1) 강 분석 영역은 12 x 10 x 5 μm³이며 깊이 방향으로 200nm 단위로 밀링한 후 2차원 EBSD 분석 결과를 3차원으로 재구성한 결과이다. 그리고 각각의 색깔을 나타내는 결정들의 3차원 형상은 하나씩 분석이 가능하다. (A), (B)는 각각 SB-TRIP강에서 존재하는 LATH형태의 베이나이트 결정립에 해당하며 LENTICULAR 3차원 형상으로 존재하는 것을 알 수 있었다. SB-TRIP (2)의 분석 영역은 10 x 10 x 3 μm³이다. 그리고 각각의 색깔을 나타내는 결정들의 3차원 형상은 하나씩 분석이 가능하다. (A), (B), (C)는 각각 SB-TRIP강에서 존재하는 페라이트이며 (D), (E), (F)는 3차원 적으로 서로 연결되어 있는 interweaved 베이나이트이며 (G), (H)는 SB-TRIP (2)에 존재하는 잔류 오스테나이트인 것으로 분석되었다. 여기서 중요한 점은 SB-TRIP(2) 강은 SB-TRIP(1) 강에서 나타나는 lath형태의 베이나이트 형상은 나타나지 않고 단지 interweaved 베이나이트로만 존재한다. 이 형태의 베이나이트도 LATH형태의 베이나이트 결정립과 마찬가지로 LENTICULAR 3차원 형상으로 존재하는 것을 알 수 있었다. 그리고 잔류 오스테나이트도 포함에서 제조된 시편보다 많은 양이 검출되었다. 이러한 3-DEBSD 결과는 앞 절에서 분석한 TEM 결과와 매우 일치하는 것을 알 수 있었다.

3.3. SB-TRIP강의 3차원 원소 정량 분석

Fig 3-1은 SB-TRIP(1) 강 3차원 원자 분포도를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 C, Al, Si 원자들의 분포를 확인할 수 있으며 분석된 DATA 부피는 23 x 23 x 43 nm³이다.

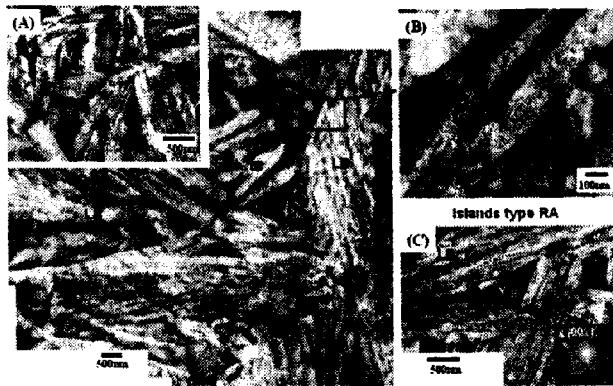


Fig 1-1. TEM micrograph of SB-TRIP (1) steel showing interweaved and lath bainite and various shapes of retained austenite (a) granular type (b) film type (c) island type



Fig 1-2. TEM micrograph of SB-TRIP (2) steel showing interweaved bainite and various shapes of retained austenite with granular type and sheave shape.

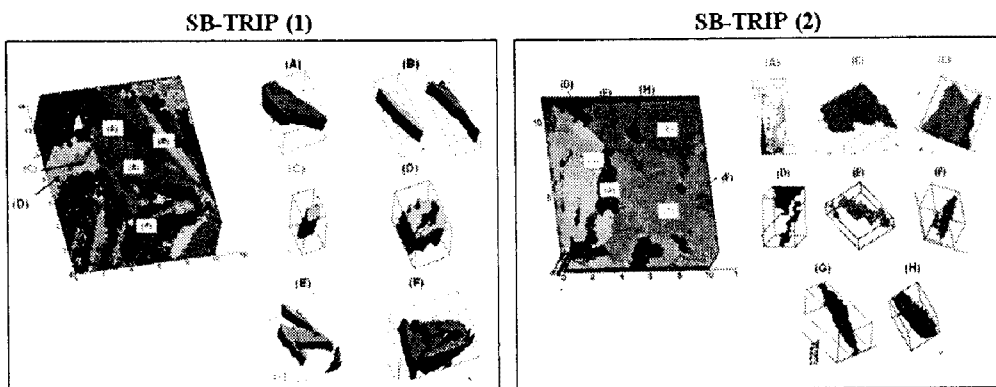


Fig 2-1. 3-D EBSD results of SB-TRIP steels obtained from FIB system showing lath bainite and ferrite and retained austenite in SB-TRIP (1), interweaved bainite in SB-TRIP (2), respectively.

C 원자가 0.2 at.%인 것을 확인하였고 TEM 미세 구조 분석한 결과와 비교하여 볼 때 C원자가 결핍된 영역 (A)을 bainitic ferrite 그리고 C 원자가 응집된 영역 (B)을 retained austenite인 것으로 사료된다. 이러한 각 상에서의 원자들의 분포를 Table 1-2에 나타내었다.

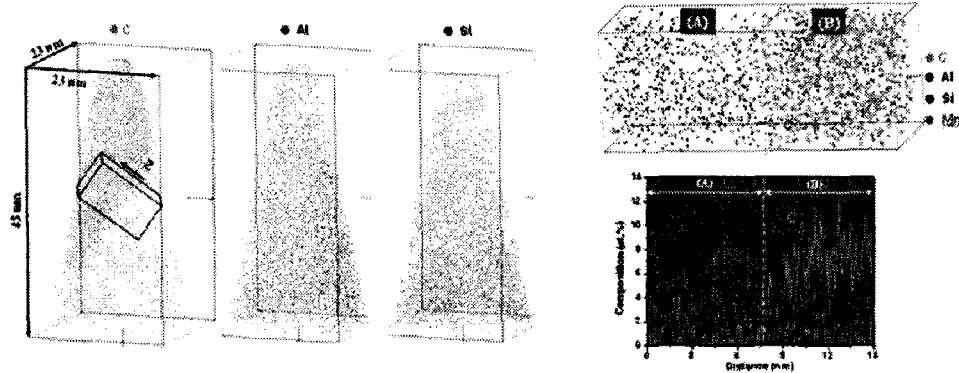


Fig 3-1. Atom maps of alloying elements, such as C, Al and Si showing partitioning of C. Atom map of C segregated area and composition profile at phase boundary between bainitic ferrite and retained austenite.

Table 2. Chemical composition of alloying elements in SB-TRIP (1) steel in bainitic ferrite (a) and retained austenite (b), respectively.

Elements	Composition (at.%)	
	(A)	(B)
C	0.22 ± 0.06	7.73 ± 0.39
Si	3.19 ± 0.20	1.87 ± 0.20
Al	3.66 ± 0.25	3.00 ± 0.25
Mn	0.50 ± 0.11	0.35 ± 0.09

4. 결론

SB-TRIP(1)강은 잔류 오스테나이트가 lath 형상으로 시편 전체적으로 분포하였으며 다양한 잔류 오스테나이트 형상을 나타내었다. SB-TRIP(2)강은 interweaved 형상으로 분포하고 있었다.

후 기

본 연구는 POSCO, BK21 및 NCNT의 재정적·기술적 지원 하에 이루어졌으며, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Bhadeshia H, Edmonds D. Metall. Mater. Trans. A, 10A (1979) p. 895
- [2] De Cooman BC. Curr Opin Solid State Mater Sci., 8 (2004) p. 285.
- [3] B. Gault, F. Vurpillot, A. Vella, M. Gilbert, A. Menand, D. Blavette, and B. Deconihout: Review of Scientific Instruments, 77 (2006) 043705