

Ti 탈산강의 비금속 개재물 및 입내 핵생성 (Non-metallic Inclusions and Intragranular Nucleation in Ti-killed Steels)

변정수, *심재혁, *서진유, *조영환, 이동녕
서울대학교 재료공학부,
*한국과학기술연구원 금속공정연구센터

강 중 비금속 개재물은 제강과정에서 제거되어야 할 대상으로만 여겨져 왔으나, 최근에는 미세한 비금속 개재물을 적극적으로 이용하고자 하는 연구들이 이루어지고 있다. 이러한 비금속 개재물은 / 변태 시에 오스테나이트 입내에서의 페라이트 핵생성을 촉진하며, 페라이트 래스(Lath)가 서로 얽혀있는 독특한 구조의 침상 페라이트를 형성한다. 이때, 침상 페라이트의 발달 정도는 강 중에 분산되어 있는 비금속 개재물의 종류에 매우 민감하다. 기존 연구에 따르면 Ti이 첨가된 강에서 침상형 페라이트가 특히 잘 발달하는 것으로 알려져 있으나, 입내 핵생성을 촉진하는 비금속 개재물의 분석은 이루어지지 못하여 왔다.

본 연구에서는 Ti첨가에 따른 비금속 개재물 종류의 변화가 입내 핵생성에 미치는 영향을 체계적으로 검증하고자 하였다. 이를 위하여, Ti 이외의 다른 미량 합금 원소(Micro-alloying Elements)를 제한한 비교적 단순한 조성의 강재를 제조하였으며(표 1), 이때 미량의 Ti 함량 변화에 따른 미세조직과 비금속 개재물 종류의 변화를 알아보고자 하였다. 진공 유도 용해 및 주조한 시편을 1527K에서 재가열한 후, 3K/s로 냉각하여 그 미세조직을 광학 현미경으로 관찰하였으며, 투과 전자 현미경을 이용하여 강 중 비금속 개재물을 분석하였다.

Table 1. Chemical composition of the steels (wt%).

C	Mn	Si	Ti	O	N	S
0.08	1.6	0.2	0 ~ 0.011	0.005	0.001	0.002

Ti의 함량이 증가함에 따라 베이나이트 미세조직으로부터 침상 페라이트 미세조직으로 변화하였다(그림 1). 각 강재 중에 분산된 비금속 개재물을 조사한 결과, 침상 페라이트가 잘 발달하지 않았던, Ti이 첨가되지 않은 시편 중에 분산되어 있는 주된 비금속 개재물은 비정질의 Mn-Si 산화물과 MnS로 이루어져 있었으며, Ti의

증가에 따라 Ti-Mn 복합산화물이 증가하는 경향을 보였다(그림 2). 이때, 주로 Mn-Si 산화물 내부에 존재하는 Ti-Mn 복합산화물은 Tetragonal 구조의 Mn_2TiO_4 나, Rhombohedral 구조의 $MnTiO_3$ 이었으며, Calphad법으로 계산한 결과와 일치하는 경향을 보였다. Ti이 약 60ppm이상 첨가되어 침상 페라이트가 잘 발달한 경우에는 주된 비금속 개재물이 Ti_2O_3 이었다. 이로부터, Ti이 입내 핵생성을 촉진하는 이유는 강 중에 존재하는 비금속 산화물의 종류를 변화시키기 때문이며, Mn-Si 산화물에 비하여 Ti_2O_3 가 입내 핵생성에 매우 유리한 비금속 개재물임을 알 수 있었다.

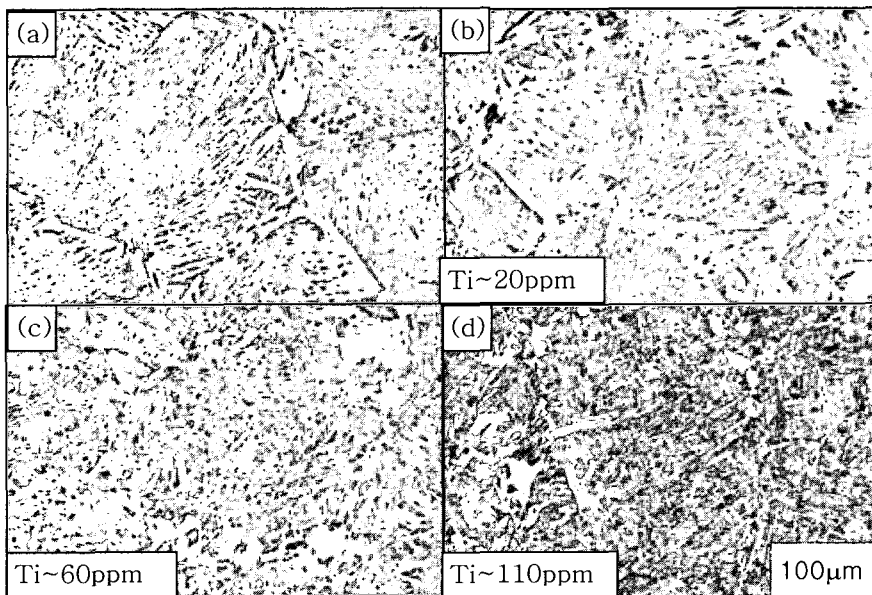


Fig. 1. Optical micrographs of the steels of (a) Ti ~ 0, (b) Ti ~ 20, (c) Ti ~ 60 and (d) Ti ~ 110 ppm ,respectively.

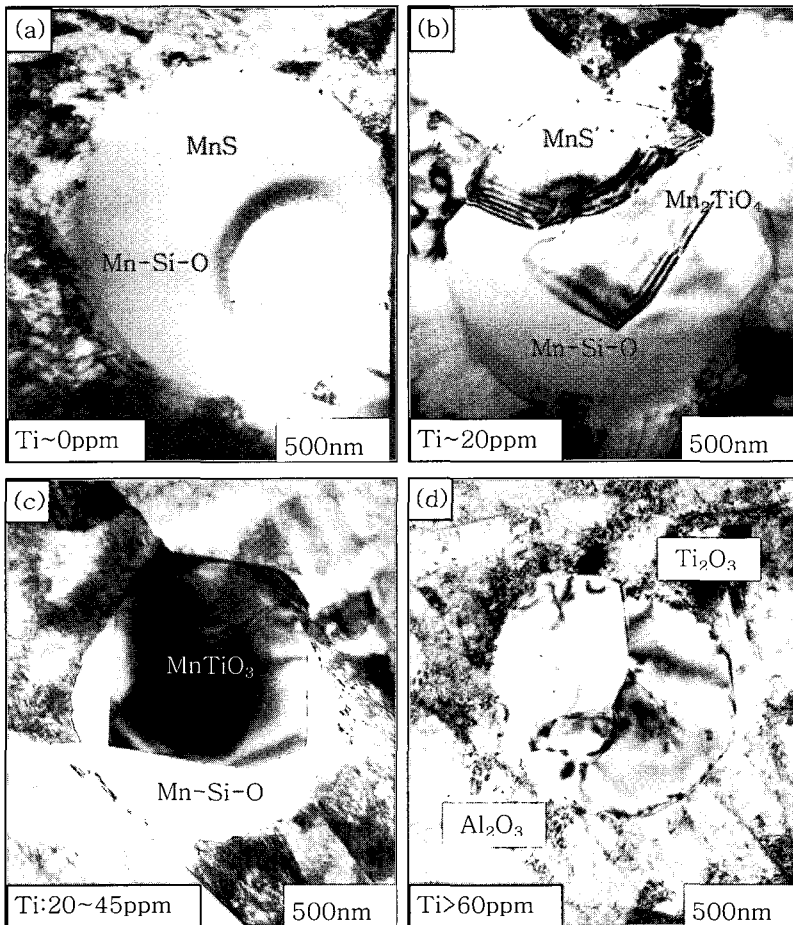


Fig. 2. Typical inclusions in the steels ; (a) Mn-Si oxide, (b) Mn₂TiO₄, (c) MnTiO₃ and (d) Ti₂O₃.