

Nucleation of Intragranular Acicular Ferrite in a Ti-containing Low Carbon Steel of high N content

진형하, 심재혁*, 조영환*, 오규환, 이후철
서울대학교 재료공학부, 한국과학기술연구원*

비금속 개재물에 의한 입내페라이트 핵생성 방법1-2을 적용하여 입내에 침상형 페라이트를 형성시킬 수 있다. 침상형 페라이트는 미세한 결정립과 서로 맞물린 페라이트 구조로 인하여 강도와 인성면에서 매우 뛰어난 성질을 가지고 있다고 알려져 있다³⁻⁴. 특히 Ti 첨가 저탄소강에 있어서 Ti₂O₃, MnS 그리고 TiN등이 효과적인 페라이트 핵생성자리인 비금속 개재물로 알려져 있다. Ti₂O₃와 MnS등은 주위의 Mn 결핍층(MDZ: Mn depleted Zone)에 의해서 페라이트 핵생성이 촉진되며 TiN은 페라이트와의 격자 정합성에 의해서 페라이트가 쉽게 핵생성된다고 알려져 있다⁶. 본 연구에서는 상대적으로 고농도 질소를 함유한 Ti 첨가 저탄소강[Table-1]에서의 비금속 개재물에 의한 입내페라이트 핵생성을 이해하기 위해서 투과전자현미경을 이용, 비금속 개재물 주위의 오스테나이트 안정화원소인 Mn의 조성 분포 및 비금속 개재물과 페라이트와의 결정방위관계를 조사하여 페라이트 핵생성 기구를 설명하였다.

Table-1 The chemical compositions of the prepared steel(wt%)

	C	Mn	Ti	O	N	Fe
Specimen	0.072	1.9	0.0160	0.003	0.007	Bal.

비금속 개재물에 의한 침상형 페라이트 핵생성 초기 조직을 얻기 위하여 1250°C에서 15분간 오스테나이트화 처리후 1~5°C의 다양한 냉각속도로 페라이트 변태온도까지 연속냉각후 수냉시켰다

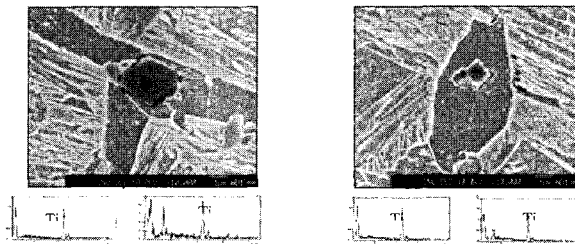


Fig-1. The SEM micrographs and the EDS spectrum of non-metallic complex inclusions inducing the intragranular nucleation of ferrite

Fig-1은 침상형 페라이트의 핵생성자리로 관찰되는 복합 비금속 개재물의 SEM 이미지와 EDS 분석 결과를 나타내고 있다. 관찰된 복합 비금속 개재물은 등근 형태의 비금속 개재물과 그 주위를 둘러싸고 있는 각진 형태의 비금속 개재물로 이루어져 있음을 알 수 있으며 EDS 분석결과 각진 형태의 비금속 개재물은 Ti-rich phase로 등근 형태의 비금속 개재물은 Ti-rich phase에 소량의 Mg를 함유하고 있음이 관찰되었다.

Fig-2는 입내 페라이트 핵생성자리가 되는 복합 비금속 개재물을 SEM과TEM으로 관찰, 분석한 것을 나타내었다. Fig-2(a)는 SEM으로 관찰된 복합 비금속 개재물에서 핵생성된 등축형태의 페라이트를 나타낸 것이며 Fig-2(b)는 TEM으로 관찰된 것을 보여주고 있다. Fig-2(c)와 2(d)는 각각 복합비금속개재물에서 등근 형태의 개재물과 그 주위를 둘러싸고 있는 각진 형태의 비금속 개재물에 대한 TEM 분석 결과를 나타내고 있다. 등근 형태의 개재물의 경우 Fig2(c)에서의 회절도형 분석결과와 EDS 분석 결과로 Mn이 고용되어 있는 Ti₂O₃로 판명되었으며 각진 형태의 개재물은 Fig-2(d)에서의 분석 결과 TiN으로 판명되었다. 즉 관찰된 입내페라이트 핵생성 자리로 판단되는 복합 비금속 개재물은 등근 형태의 Ti₂O₃주위를 각진 형태로 석출된 TiN 복합개재물로 확인되었다.

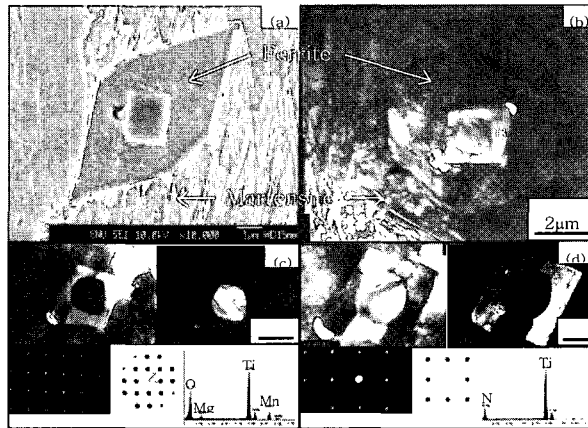
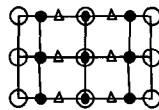
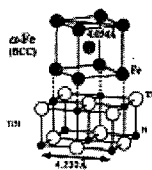
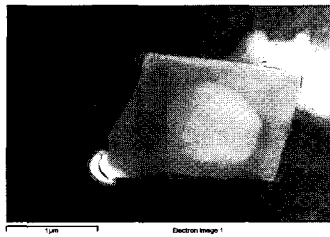


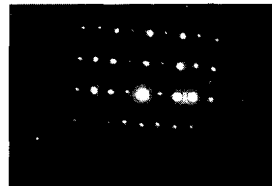
Fig-2 SEM(a) and TEM(b) images and the results of TEM analysis at the complex inclusion: Inclusion of A, B is identified as Ti₂O₃(c), TiN(d), respectively.

Fig-3은 TiN과 페라이트와의 결정방위관계를 가지고 있음을 보여주는 회절도형(a)과 복합 비금속 개재물 내부와 주위에서의 오스테나이트 안정화원소인 Mn의 조성분포를 나타내고 있는 EDS분석결과(b)를 나타내고 있다. 각진 형태인 TiN과 개재물에서 핵생성된 페라이트는 특정한 방위관계인 Baker-Nutting relationship을 가지고 있음을

관찰할 수 있으며 TiN과 페라이트는 (011) α //(011)TiN의 면간불일치도가 약 4.5%로 알려져 있다. EDS 관찰결과[Fig-3(d)] Ti₂O₃내부에 Mn이 약 10wt% 정도 균일하게 고용되어져 있음을 알 수 있으며 개재물 주위에서는 Mn의 양이 감소함을 관찰할 수 있었다. 그러나 Ti₂O₃가 TiN에 의해서 완전히 둘러싸여져 있으며 개재물 주위에서의 Mn 감소량이 상대적으로 작기 때문에 위에서 관찰된 복합 비금속 개재물에서의 페라이트 핵생성은 Mn 결핍층에 의한 페라이트 핵생성보다는 페라이트와 TiN의 결정 정합성에 의해서 증진되었다고 설명할 수 있다.

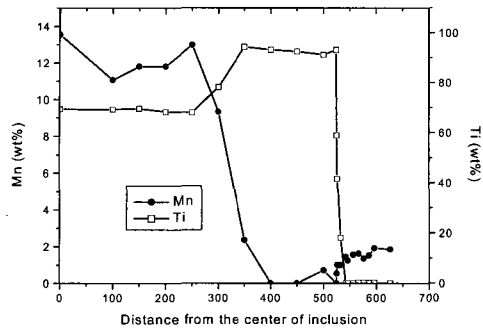


○ : Ferrite α ● : TiN



△ : Double diffraction spot

(001)TiN , (011)
[200]TiN//[200], [020]TiN//[011]
B-N Relationship
(b)



(c)

Fig-3 TEM analysis of the complex inclusion and ferrite: (a)STEM image, (b) Electron diffraction pattern of TiN and Ferrite and (c) EDS Results across inclusion and ferrite

References:

- 1) Shim, J.-H. et al, Acta mater., 1999, 47, 2751.
- 2) Gragg, J. M. and Bhadeshia, H. K. D. H., Acta mater., 1997, 45, 739.
- 3) Grong, O. and Matlock, D. K., Int. metall. Rev., 1986, 31 27.
- 4) Ricks., R. A., Powell, P. R., and Barritte, G. S., J. Mater. Sci., 1982, 17, 732
- 5) Mabuchi, H., Uemori, R. and Fujioka, M., ISIJ. Int., 1996, 36, 80.
- 6) Morikage, K., Oi, F. Kawabata and K. Amano : Tetsu-to-Hagane, 1998, 84, 510.