

Fe-Mn-Ni합금의 시효시 입계 석출상의 변태거동
(*in situ* Transformation of θ -MnNi Intermetallics to Austenite during Aging of Fe-Mn-Ni Alloys)

허윤욱, 김미영, 이 후철
 서울대학교 재료공학부

Fe-Mn-Ni합금은 높은 시효경화능을 보이지만, 시효초기부터 심한 입계취화 현상을 보인다. 이러한 입계취화는 시효의 진행과 더불어 서서히 회복되는데, 투과 전자 현미경으로 입계를 관찰한 결과, 입계취화가 극심한 시효초기에는 θ -MnNi 상이, 장시간 시효 후에는 오스테나이트 상을 입계에서 확인 할 수 있었다. 따라서, 본 실험에서는 입계에 석출해 있는 θ 상의 오스테나이트상으로의 변태거동을 조사하여 입계 취화와 연성의 회복을 설명하고자 한다.

사용된 합금은 Fe-7.8Mn-8.2Ni강이며, 전해철과 전해망간, 전해니켈을 진공용해한 뒤 잉곳트를 6cm × 1cm크기의 강편으로 단조하고, 섭씨 900℃에서 용체화하여 440℃에서 시효처리 하였다. 전해연마 또는 Carbon extraction 방법에 의하여 TEM시편을 제작하여 회절패턴, 고분해능상 분석과 EELS를 통한 화학조성 분석을 수행하였다.

[110]방향에서 관찰한 시효시간에 따른 입계 석출물의 변화과정을 그림 1에 표시하였다.



그림 1. [110]방향으로 관찰한 440℃에서 2시간(a), 8시간시효한 시편(b)의 θ 상과 64시간 시효한 시편에서 나타나는 오스테나이트(c).

그림 1(a)는 시효초기 θ -MnNi 입계 석출물을 보여주는 것이며, 그림1(b)는 8시간 시효 후에 입계 석출물을 [110]_θ방향에서 관찰한 것이다. θ 상의 (111)면 방향으로 필름 형태의 층이 발달하고 있음을 보여준다. 이러한 필름 층을 EELS로 분석한 결과 철(Fe)이 존재함을 알 수 있었고, 고분해능 영상을 Fast Fourier Transform(FFT)한 결과 오스테나이트상에 가까운 회절도

형을 얻을 수 있었다. 시효가 진행됨에 따라 이들 층은 더욱더 많아지고 또한 간격도 촘촘해진다. 장시간 시효 후 입계에는 그림1의 (c)와 같은 층이 없는 조대한 오스테나이트가 관찰된다. 이들은 변태가 완료된 것으로 판단된다.

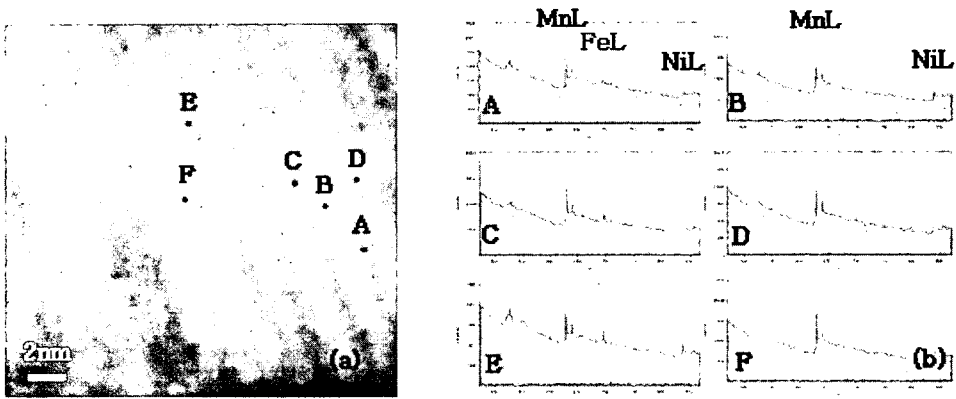


그림 2. 440°C에서 12시간 시효한 시편의 (a)ADF영상과 (b)EELS Spectrum.

열역학 계산을 통해 본 이 조성에서의 평형상은 오스테나이트 상이며, 따라서 θ 상은 준 안정 상임을 알 수 있다. 준안정상은 장시간 시효하면 안정상으로 변태하므로 열역학 계산을 통하여 본 결과도 θ 상의 오스테나이트상으로의 변태를 뒷받침 해준다.

이 상의 결과를 볼 때, 준 안정상인 θ 상은 시효초기에 입계에 석출하여 입계취화를 일으키나, 시효가 진행됨에 따라 θ 상 내부에 박막 형태의 오스테나이트 상들이 생기고, 이들 오스테나이트 층의 간격이 조밀해져서, 결국 θ 상 전체가 안정상인 오스테나이트상으로 변태된다. 파괴강도의 회복은 θ 상이 오스테나이트상으로 변태함에 기인하는 것임을 알 수 있다.