

초청강연 II

일차재결정집합조직 형성이론 (A Theory for Evolution of Recrystallization Textures)

서울대학교 이동녕

1. 서론

공업적으로 중요한 금속재료들은 다결정체이다. 다결정체들을 구성하는 결정립들의 방위분포가 무질서하지 않고 어떤 특정한 방위로 향하는 경우가 많다. 이러한 경우 이 재료가 우선방위 또는 집합조직을 가졌다고 말한다. 이러한 집합조직은 주조, 소성가공, 열처리, 도금, 증착 등 각종 가공 시에 생기게 되는데 이러한 집합조직으로 인하여 재료가 기계적, 자기적, 화학적 성질의 이방성을 갖게 된다. 이 이방성은 다결정을 구성하고 있는 결정립인 단결정의 성질이 이방성을 갖고 있기 때문이다.

위의 각종 가공으로 생긴 가공집합조직을 가진 재료를 어닐링하여 재결정시키면 가공집합조직과는 다른 집합조직이 생길 수 있다. 이 집합조직을 재결정집합조직이라 한다. 재결정이 완료된 후 어닐링을 오래 하면 처음 재결정집합조직과는 다른 집합조직이 생길 수 있다. 이것을 이차재결정집합조직이라 한다. 이차재결정집합조직과 구별하여 처음 생긴 재결정집합조직을 일차재결정집합조직이라 한다. 가공집합조직으로부터 재결정집합조직의 발생에 대한 연구 역사는 약 60년이 된다.

1995년까지 재결정집합조직의 설명을 위한 이론에는 배향핵발생이론(oriented nucleation)과 배향성장이론(oriented growth)이 지배하여 왔다. 배향핵발생이론에서는 어떤 특수한 핵이 우선적으로 활성화되어 최종재결정집합조직을 결정한다는 것이며, 배향성장이론에서는 변형된 기지와 가장 좋은 방위 관계를 갖고 있는 결정립만이 성장할 수 있으며 결국 재결정집합조직을 형성한다는 것이다.

최근 필자는 위의 2 이론과는 전혀 다른 에너지에 바탕한 재결정발생모델(최대에너지 방출이론)을 제시하였다. 여기서는 이를 소개하고자 한다.

2. 최대에너지 방출이론

재결정은 근본적으로 재료에 축적된 에너지를 감소시키기 위하여 일어난다. 축적된 에너지는 원자공공, 전위, 입계, 표면에너지 등에 기인한 에너지를 포함할 수 있다. 재결정집합조직의 방향성의 원천을 이해하면 재결정 집합조직의 해의 길이 될 수 있다. 격자표면에너지의 차이에 기인한 표면에너지의 이방성의 효과는 진공중이나 불활성분위기에서 결정립도가 시편의 두께보다 훨씬 클 경우를 제외하고는 무시할 수 있다. 입계의 이동도(易動度)의 차이가 재결정집합조직의 배향성장이론과 관련이 있을지 모르며 결정성장 중 집합조직변화에서 고려해야 할 중요한 인자임에는 틀림없다. 원자공공은 비교적 등방성특성 때문에 재결정집합조직에 중요한 영향을 미칠 것 같지 않다.

따라서 가장 중요한 재결정 구동력은 전위에 기인한 축적에너지일 수 있다. 이 에너지가 아무리 크다고 해도 어떤 이방성특성을 부여하지 못한다면 전위가 재결정집합조직에 직접 관계

있을 수 없다. 전위배열은 매우 복잡하다. 그러나 어닐링 초기에 전위들의 단범위 상호작용에 의하여 칼날전위의 안정한 배열이나 저에너지배열을 한다고 가정하면 그림1에서 보는 바와 같이 절대최대수직응력방향을 얻을 수 있다. 그림1의 응력분포는 전위주위의 응력분포의 중첩에 의하여 얻어진 것이며 절대최대응력방향은 전위의 Burgers 벡터의 방향과 같음을 알 수 있다. 만일 이러한 응력의 분위기 속에서 재결정이 일어난다면 기지와 재결정을 합한 계는 근사적으로 일정한 부피의 계이며(그림2) 따라서 변위제어계로 취급할 수 있다. 따라서 재결정된 결정의 최소탄성계수의 방향이 기지의 절대최대응력방향과 같을 때 재결정으로 인한 에너지의 방출이 최대가 될 것이다(그림3). 따라서 재결정집합조직은 기지의 절대최대응력방향과 재결정립의 최소탄성계수가 같게 되도록 형성될 것이다(그림2). 이 개념을 이용하여 구리전착층의 재결정집합조직과 가공집합조직으로부터 재결정집합조직 형성을 설명하였다.

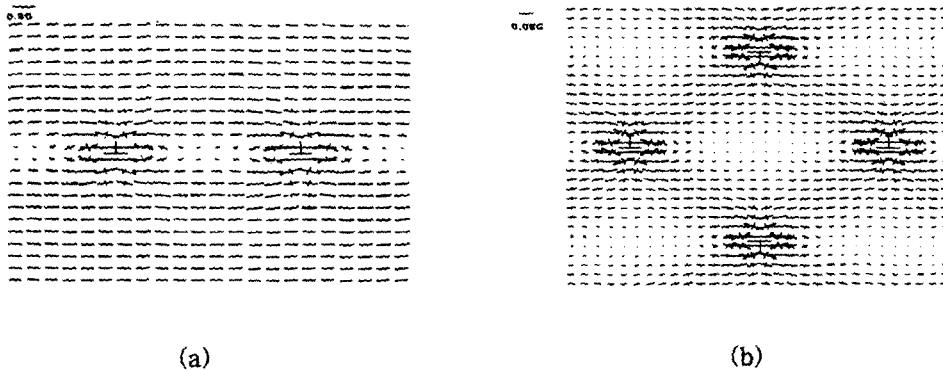


Fig.1 Principal stress distribution around (a) two parallel edge dislocations and (b) low energy configuration of edge dislocations, which are calculated based on the principles of superposition. The distance between two horizontal dislocation is (a) $10b$ and (b) $20b$ with b being the Burgers vector, and G is the shear modulus.

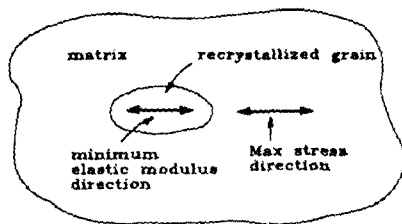


Fig.2 Matrix and recrystallized grains constitute constant volume system, in which energy release can be maximized when the absolute maximum stress direction becomes parallel to the minimum elastic modulus direction.

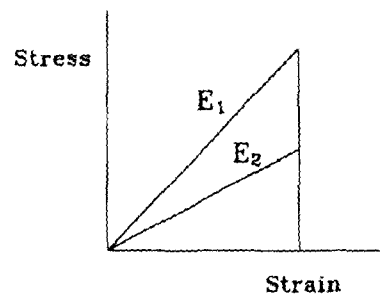


Fig.3 Figure showing that the elastic strain energy decreases with decreasing elastic modulus in displacement controlled system.