

알루미늄과 니켈 봉재의 압축집합조직 해석

嚴慶根, 鄭孝泰, *李成普, 李東寧

서울대학교 재료공학부, *한국기술원 재료공학과

Analysis of Uniaxial Compression Texture of Aluminum and Nickel Rods

Kyung-Keun Um, Hyo-Tae Jeong, *Sung Bo Lee and Dong Nyung Lee

Division of Materials Science and Engineering, Seoul National University and

* Department of Materials Science and Engineering,

Korea Advanced Institute of Science and Technology

1. 서론

재료에 가공에 의한 변형이 주어지면 재료내의 위치에 따라 변형 상태가 다르며 이에 따라 집합조직도 달라진다. 즉, 시편과 공구의 형상, 마찰 등에 의해서 재료내의 위치에 따라 물성이 달라진다.

재료의 물성을 평가하는 여러 가지 시험법중에서 압축시험은 재료가 파단되지 않으므로 대변형을 가할 수 있어서 널리 사용되고 있다. 그러나, 압축시험은 변형이 증가할수록 시편과 공구사이의 접촉이 증가하여 시험의 결과에 큰 영향을 준다. 따라서, 압축시험에서는 시편과 공구사이의 마찰 조건이 중요한 요소가 된다.

일반적으로 축대칭 변형에 의해서 재료는 시편축방향과 결정의 특정 방향이 나란하게 되는 섬유집합조직(fiber texture)를 갖게 된다[1]. 예를 들어, 압출과 신선가공에서 BCC 금속인 경우에는 $\langle 110 \rangle$ 방향이, FCC 금속인 경우에는 강한 $\langle 111 \rangle$ + 약한 $\langle 100 \rangle$ 방향이 선재 축에 나란하게 된다.

또한, 압축시험에 의해서는 이와 반대가 되는 집합조직을 가진다. 즉, FCC 금속인 경우에 $\langle 110 \rangle$ 섬유집합조직을 가진다.

이 연구에서는 압출, 신선된 봉재를 윤활과 무윤활을 한 경우에 위치에 따른 집합조직의 변화를 살펴보고 또한, 변형률에 따른 집합조직의 변화를 조사하였다.

2. 실험 방법

압출, 신선된 니켈과 알루미늄 봉재를 각각 20, 10mm를 초기 길이로하여 압축하였다. 니켈의 경우에는 시편과 공구사이에 윤활을 하지 않았으며 알루미늄의 경우에는 테프론과 그리스를 사용하여 윤활하였다.

압축 변형률은 니켈의 경우에 50%, 알루미늄은 70%의 변형을 가하였다. 알루미늄의 경우에는 압축이전의 신선 변형률이 70%이었다. 집합조직은 초기 조직과 압축 후에 시편의 중심면과 공구와 접촉한 면을 측정하였다. X-선으로는 Mo와 Cu 타겟을 사용하였다.

3. 실험 결과

그림 1은 초기 압축, 신선된 상태의 니켈 봉에서 측정된 (111) 극점도이다. 그림에서 일반적으로 알려진 것과 같이 <111> 섬유 집합조직이 발달하고 있다. 또한 이를 50% 압축하였을 때, 각 부위에서의 극점도를 그림 2에 나타내었다. 공구와 접촉하고 있던 표면부(그림 2-(a))는 신선상태를 유지하고 있으며, 시편의 중심부(그림 2-(b))에서는 압축 집합조직인 <110> 섬유 집합조직을 가진다.

사진 1은 니켈봉재의 초기와 압축후의 모양을 보여준다. 압축후에 니켈봉의 직경이 부위에 따라 다름을 알 수 있다. 표면부는 초기 직경에 가까우며 중심부는 약 1.2-1.4 배 정도 증가하였다.

또한, 알루미늄 봉재에 대해서 초기, 압축량 20%, 40% 그리고 70%에서 시편의 중심부에서 측정된 (111) 극점도를 그림 3에 나타내었다. 알루미늄의 경우에 윤활을 하였으므로 표면부도 중심부와 거의 같은 변형을 하였다고 생각되며 이 때의 시편의 형상을 사진 2에 나타내었다. 그림 3의 극점도에서 초기 신선에 의한 <111> 섬유 집

합조직은 변형이 증가함에 따라 <110> 섬유 집합조직으로 변해 감을 알 수 있다.

변형에 따라 집합조직의 변화를 역극점으로 나타내면 그림 4와 같다. 초기의 <111> 방위는 압축변형에 따라 <110> 방위로 이동하고 있음을 알 수 있다. 이러한 경로는 Taylor 모델로 계산된 분포[2]와 단결정에서의 결과와 일치한다(그림 5).

4. 유한요소해석 및 집합조직 계산

윤활에 의한 마찰조건의 변화에 따른 변형과 집합조직의 변화를 계산하기 위해 그림 6-(a)와 같은 유한요소망을 작성하였다.

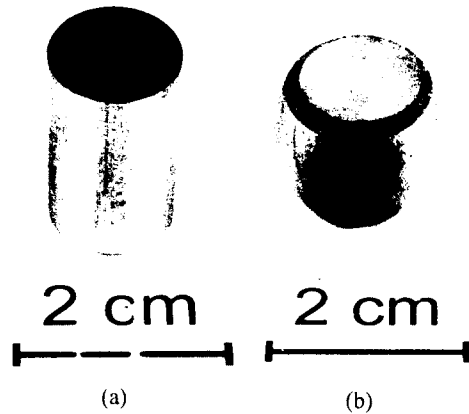


Photo 1. Compression specimen of Ni (a) before and (b) after test.

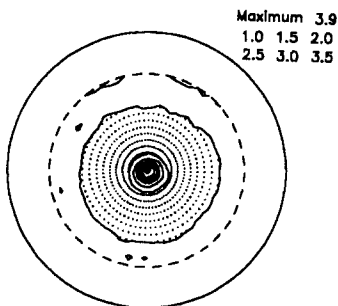


Fig. 1. Measured (111) pole figures of initial Nickel rod.

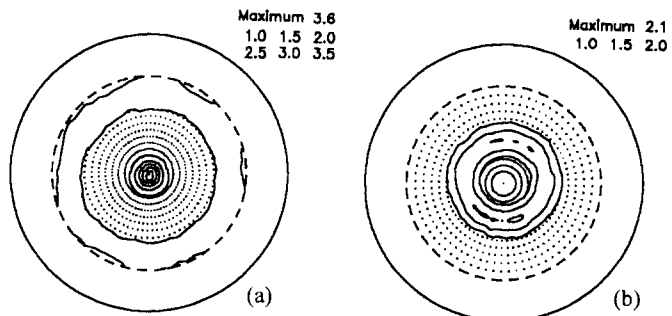


Fig. 2. Measured (111) pole figures of initial Nickel rod (a) at the surface contacted with die and (c) at the center after compression.

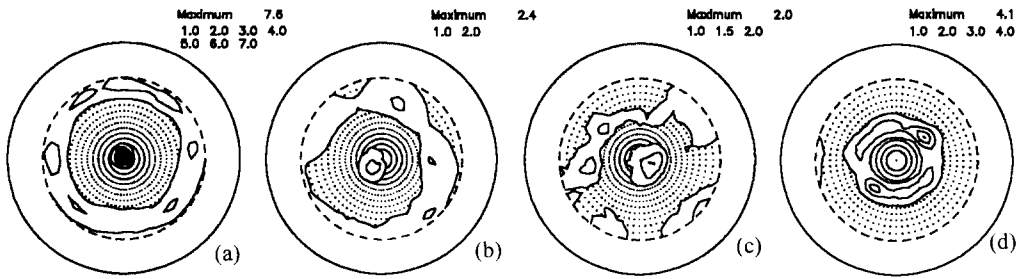


Fig.3. Measured (111) pole figures of aluminum rod (a) at drawn state, (b) after compression by 20%, (c) 40% and (d) 70%.

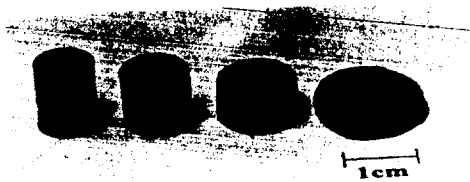


Photo 2. Compression specimen of Al (a) at drawn state, (b) after compression by 20%, (c) 40% and (d) 70%.

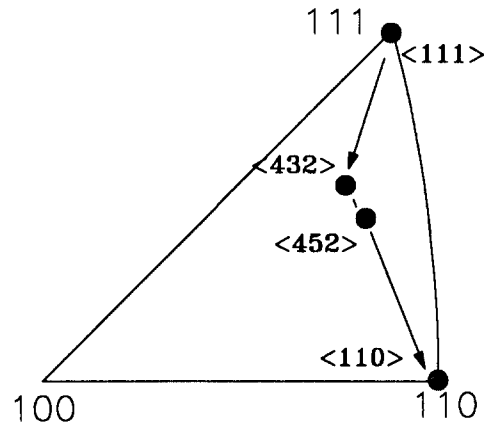


Fig.4. Inverse pole figure showing the path of axial direction during compression.

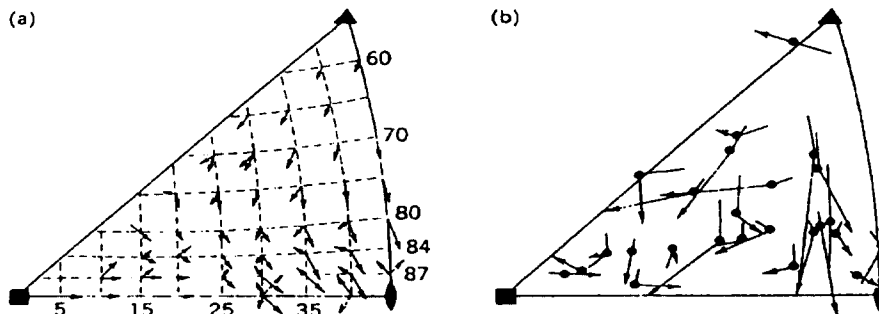


Fig.5. The lattice rotations (a) predicted by Taylor for axisymmetric compression of fcc crystals and (b) experimentally observed in Al after 11 and 31% compression[2].

무운활인 경우를 가정하여 마찰계수를 0.2
으로 하였다. 압하량은 니켈봉의 실험과 같
이 50%이었다. 구하고자 하는 부위의 변형

률 이력을 유한요소해석으로 구하여 이를
Taylor-Bishop-Hill 모델로 집합조직을 계
산하였다[3].

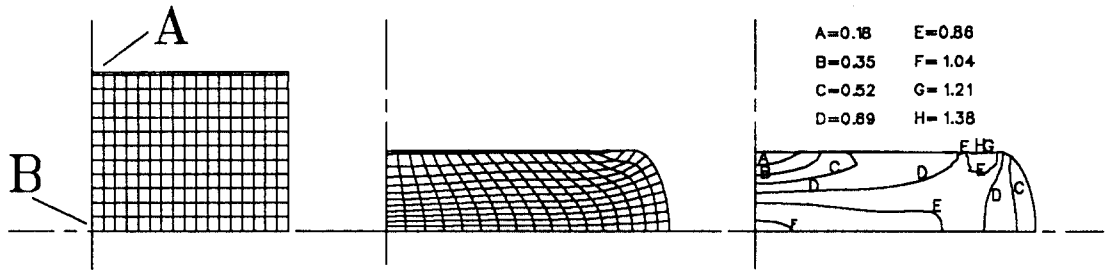


Fig.6. FEM meshes (a) at initial state, (b) after compression by 50% and (c) the distribution of effective strain.

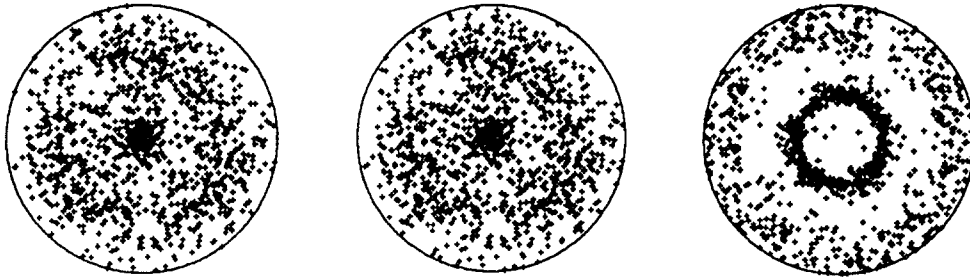


Fig.7. Calculated (111) pole figures of (a) initial drawn state, (b) at the surface and (c) at center of specimen compressed by 50%.

그림 6-(b)는 50% 압축후의 유한요소망이다. 사진 1의 실험에서와 같이 시편의 중심부가 접촉부보다 반지름이 크다. 그림 6-(c)는 이 때의 유효변형률 분포를 나타낸다. 시편의 중심부는 가해진 변형만큼 변형을 하지만 다이와 접촉하고 있던 표면부는 마찰에 의해 금속의 유동이 구속되어 변형량이 미미하다. 이는 각 부위에서 계산된 (111)극점도로부터 확인된다(그림 7).

즉, 그림 7-(a)의 표면부에서는 변형률이 미미하여 초기의 신선, 압출된 상태의 <111>섬유집합조직이 그대로 남아있으며 중심부에서는 압축 집합조직인 <110> 섬유집합조직이 발달하였다. 이는 그림 2의 실험결과와 일치한다.

5. 결론

- 1) 압축변형에 의해서 니켈 및 알루미늄 봉재는 <110> 섬유집합조직을 가진다.
- 2) 무윤활인 경우에 다이와의 마찰에 의해 시편의 표면부에서는 변형이 구속되고 초기의 집합조직이 그대로 유지된다.
- 3) 알루미늄 봉재의 압축량에 따른 집합조직의 변화는 초기 <111>방위는 압하량의 증가에 따라 <111>→<432>→<452>→<110> 으로 변한다. 이는 Taylor 모델에 의해 계산된 분포와 일치하였다.

참고문헌

- 1) Structure of Metals, C.S.Barrett and T.B.Massalski, 1966 McGraw-Hill
- 2) C.S.Barrett and L.H.Levenson, Trans. AIME 137 (1940) 112
- 3) 정효태, 서울대 박사논문, 1997