

# 극저온 압연 및 온간 압연 기술을 이용한 5052 알루미늄 합금의 기계적 성질의 향상

강의구<sup>1</sup>, 이상훈<sup>1</sup>, 이종철<sup>1</sup>, 남원종<sup>#</sup>

## Large enhancement in mechanical properties of the 5052 Al alloys by cryogenic and warm rolling

E. G. Gang, S. H. Lee, J. C. Lee, W. J. Nam

### Abstract

Cryogenic rolling combined with warm rolling has been found to be more effective than only cryogenic rolling procedure in improving the strength of a 5052 Al alloy. In this study, cryo-rolled 5052 Al alloys were aged at 175°C. Warm rolling was conducted after dipping plates into silicon oil bath. A notable increase of tensile strength is achieved by the precipitation during warm rolling. The mechanical behavior of this alloy was investigated by hardness and tensile tests. The microstructure was investigated by transmission electron microscopy. It was found that the cryogenic rolling combined with warm rolling was very effective in improving tensile strength.

**Key Words** : Cryogenic Rolling, Cryogenic and Warm Rolling, Dynamic Aging, Precipitation, Dynamic Recovery

### 1. 서론

금속재료에 있어서 고강도와 우수한 연성의 조합을 얻기 위해서는 결정립 크기를 수백 nm 정도로 미세화 시키는 것이 효과적이라는 사실은 잘 알려져 있다. 강소성 가공에 의한 나노 결정립 제조 방법은 1980년대 초 구 소련 과학자들에 의해 개발된 후 1990년 대 서방 세계에 보급되면서 bulk 나노 결정립 재료 제조 분야에서 가장 많은 연구가 이루어지고 있는 분야이며 이러한 강소성 가공 기술로 인하여 약 100nm 까지 결정립 초미세화가 가능한 것으로 알려져 있다.

최근 개발되고 있는 초세립 결정립 재료 제조를 위한 신개념의 소성가공 기술들(특히 ECAP 또는 ECAE과 같이 효과적으로 많은 가공량을 부여하여

가공 중 동적 회복 및 동적 재결정의 발생으로 초미세 결정립의 제조를 가능하게 하는 방법들)은 불연속 공정, 제조 공정에서의 반복 변형을 위한 설비의 제약, 제품의 형상 및 치수 제한 등으로 적용 제품 범위가 상당히 제한 받으며 상용 대단위 생산 기술로 발전시키기 위해서는 더욱 많은 연구가 필요한 실정이다. 이러한 산업적 측면을 고려한 압연을 이용한 초미세 결정립 재료의 제조기술로는 Accumulative Roll Bonding (ARB), 비대칭 압연 (Asymmetric Rolling) 및 극저온 압연의 3가지 제조기술을 들 수 있다. 이 기술 중 ARB와 비대칭 압연은 기존 제조설비의 개조 및 보수를 필요로 하는 반면, 극저온 압연은 압연 온도의 저하를 위한 시설만이 필요하므로 상용화가 비교적 용이한 기술이라고 할 수 있다. 특히 극저온 가공은 금속재료의 결정립 미세화에 큰 효과가 있다[1~3].

1. 국민대학교 신소재공학부

# 교신저자: 국민대학교 신소재공학부,

E-mail:wjnam@kookmin.ac.kr

따라서, 극저온 압연기술과 ARB의 온간 압연기술을 융합하면, 극저온 압연을 통하여 동적 회복 및 재결정 kinetics에 필요한 구동력을 확보하고, 온간압연을 적용하면, 비교적 작은 가공량 하에서 초미세 결정립을 갖는 고강도 고연성 알루미늄 합금을 제조할 수 있다. 또한 알루미늄 합금에서의 온간압연 중 석출물의 석출이 소재의 강도 향상 및 열적 안정성에 크게 기여하므로, 온간압연 실시 중 석출이 발생하는 경우 재결정 결정립 미세화 및 어닐링시 결정립 성장 억제가 가능해지므로 미세조직의 열적 안정성에 크게 기여할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 온간압연 조건에 따른 석출 거동을 분석하여 초세립을 갖는 고강도 고연성 알루미늄 합금 소재의 제조기술을 확보하고자 한다.

## 2. 실험방법

본 연구에 사용된 소재로는 두께 8mm의 5052 Al 합금 판재를 사용하였으며, 내부응력을 제거하기 위하여 540°C에서 2시간 열처리 후 수냉하였다. 초기 결정립의 크기는 65 $\mu$ m이었다. 열처리된 시편은 극저온에서 각 패스에 감면을 20~25%의 적용을 조건으로 최종 80%의 변형량까지 압연하였다. 극저온 압연시편은 매회 압연 전 액화 질소 온도(-196°C)에서 15분 동안 침적 후 압연하였다. 극저온 압연과 온간 압연을 융합한 방법으로는 극저온에서 55%의 변형량을 적용 후 온간 압연에서 25%의 변형량까지 압연하였다. 온간 압연은 실리콘 오일(175°C~250°C)과 주석(Sn)베이스(300°C)를 이용하여 각 온도에 따라 10분간 침적 후 압연하였다.

미세조직 관찰은 TEM을 이용하였으며, TEM 시편은 기계적 연마 후 75% CH<sub>3</sub>OH + 25% HNO<sub>3</sub> 혼합용액으로 -30°C 온도에서 twin jet polishing 하여 길이 방향 및 압연방향 단면의 시편을 이용하여 관찰 하였다. 기계적 성질은 인장시험을 이용하였으며, 인장시험 시 초기 변형속도는 3 x 10<sup>-3</sup>/s 였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 극저온 및 온간 압연재의 미세조직

Fig. 1-(a)의 극저온에서 55% 압연한 소재에서는 다소 높은 전위밀도를 갖는 압연방향으로 길게 연신된 형태를 갖는 밴드 형태로 배열된 미세조직이 관찰되었다. 이와 비교해서 가공량이 80%로 증가함에 따라 (Fig. 1-(b)) 100nm 정도로 밴드 폭이 감소하는 것이 관찰 되었고 전위 밀도가 급격히 증가하는 경향을 보였다.

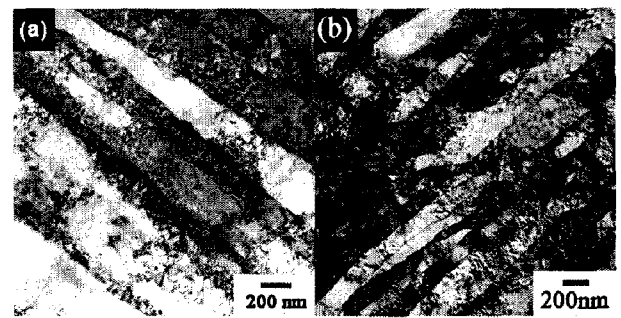


Fig. 1 TEM micrographs of 5052 Al alloy, (a) deformed at cryogenic temperature with 55% reduction and (b) deformed at cryogenic temperature with 80% reduction

온간 압연이 적용되는 경우 압연 온도는 미세조직 변화와 밀접한 관계를 갖는다. 온간 압연을 175°C에서 실시한 경우(Fig. 2-(a)), 내부에 높은 전위 밀도를 포함한 압연 방향으로 연신된 밴드 형태로 배열된 미세조직이 관찰되었으며, 50nm 정도의 미세한 석출물이 분포하는 것이 관찰되었다. 이 석출물들은 온간 압연 중 동적 시효(Dynamic aging) 과정을 거치면서 석출된 것으로 보이며, 석출 온도, 시간 및 소재 화학성분 등의 조건으로부터 Al-Mg로 구성된  $\beta'$ 임을 알 수 있었다.

온간압연 온도가 상승함에 따라 밴드 형태로 연신된 미세조직으로부터 등축정 결정립 생성, 아 결정립 생성 및 성장 등에 의해 구형에 가까운 형태로 변화하는 것을 관찰할 수 있었다. 또한 압연 온도 250°C의 경우(Fig. 2-(c)), 200nm 수준의 등축정 결정립과 규칙적으로 배열된 전위의 분포가 상당한 수준 회복이 진행되었음을 가리킨다.

### 3.2 압연온도에 따른 기계적 성질 변화

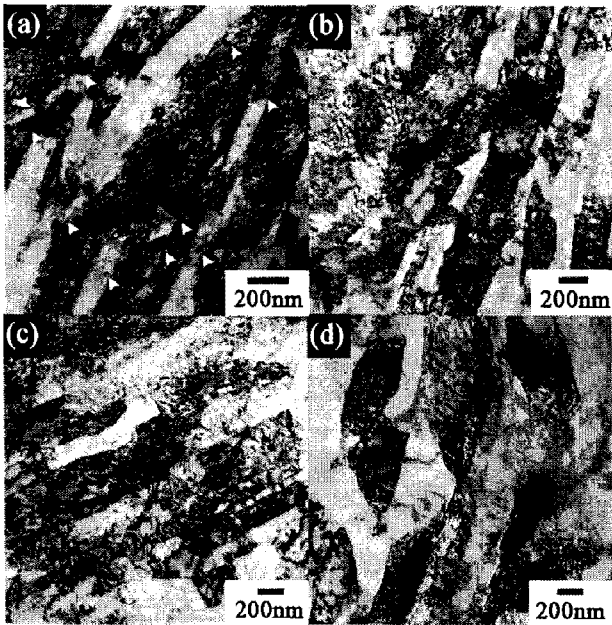


Fig. 2 TEM micrographs of 5052 Al alloy deformed at cryogenic temperature with 55% reduction and at warm temperature with 25% reduction (a) 175°C, (b) 200°C, (c) 250°C and (d) 300°C

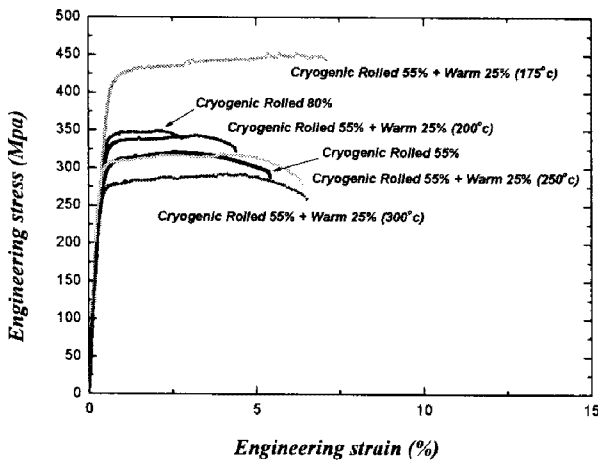


Fig. 3 The engineering stress-strain curves of 5052 Al alloy deformed at cryogenic temperature with 55% reduction and warm temperature with 25% reduction at different rolling temperature

Fig. 3 에 극저온에서 55% 압연한 소재를 175~300°C 온도 범위에서 25% 온간 압연한 시편의 기계적 성질을 나타내었다.

압연 온도가 175°C 경우 인장강도가 극저온 55% 압연한 시편의 320MPa로부터 450MPa 까지 거의 40% 증가한 반면, 단지 극저온 80% 압연한 경우에는 350MPa로 약 10% 증가하였다. 이와 같이 80% 극저온 압연한 경우보다 극저온 압연 이후 온간 압연을 적용하여 인장강도가 급격히 증가한 현상은, 온간 압연 중 50nm 정도의 미세한 석출물의 생성으로 인한 강도 증가에 기인한 것으로 보인다. 총 연신율 또한 8% 수준으로 극저온 80% 압연한 경우 보다 4% 증가하였는데, 이는 온간 압연을 통해 동적 회복 발생으로 인한 내부 전위 밀도를 감소로 연성이 향상되었기 때문으로 보인다.

또한 온간 압연 온도가 200°C 이상으로 상승하게 되면, 인장 강도가 350MPa 수준 이하로 저하하는데, 이는 활발한 동적 회복 및 등축정 결정립 생성, 성장에 의한 강도 저하 효과와 석출물의 성장으로 인한 석출물 강화 효과 감소에 기인한 것으로 사료된다.

### 4. 결론

5052 Al 합금 극저온 압연 후 온간 압연시, 압연 온도 변화가 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 영향을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

극저온 압연과 온간 압연을 융합한 경우, 압연 온도 175°C를 적용하면 극저온 압연만 적용한 경우 보다 급격히 인장강도가 증가하는 것을 보였다. 이는 온간 압연 실시 중 미세한 석출물 발생으로 인한 석출강화 효과가 인장 강도를 상승시켰기 때문이다.

### 참고 문헌

- [1] T. G. Langdon, 2001, Deformation heating and its effect on grain size evolution during Equal Channel Angular Extrusion, Scripta Mater., Vol. 44, pp. 135.
- [2] E. J. Lavernia, 2001, Grain growth of nanocrystalline Ni powders prepared by cryomilling, Int. Metall. Mater. Trans., Vol. 32A, pp. 3109.
- [3] E. J. Lavernia, 2002, Grain growth behavior of cryomilled INCONEL 625 powder during isothermal heat treatment, Metall. Mater. Trans., Vol. 33A, pp. 125.