

이주속압연을 이용하여 반복접침접합압연 가공된 알루미늄의 미세조직 및 기계적 특성

Microstructure and Mechanical Properties of Aluminum Processed by Accumulative Roll-Bonding using Differential Speed Rolling

이 성희

국립목포대학교 신소재공학과

1. 서 론

최근, 금속재료의 결정립을 초미세화시킴으로써 기계적 특성을 크게 향상시키는 강소성가공법들이 많은 주목을 받고 있다. 그 중에도, 구속전단가공법(ECAP),¹⁾ 극한비틀림변형법(STS),²⁾ 반복접침접합압연법(Accumulative Roll-Bonding, ARB), 반복주름압연법(RCS)³⁾ 등과 같은 강소성 가공법들은 소재의 형상변화 없이 고강도화를 달성할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이런 방법들 중에서, ARB공정^{4,7)}은 연속공정이 가능한 압연을 이용한 공정이므로 생산성이 높으며 판상(板狀)의 비교적 큰 재료에도 적용이 가능하므로 실용 가능성이 높은 프로세스라 할 수 있다. ARB에서 결정립초미세화 및 고강도화를 달성하기 위해서는 6사이클(상대변형량~4.8) 이상 반복하여 가공해야 한다. 또한, ARB에서 압연 중에 롤과 피가공재료 사이의 마찰에 의해 재료 표면 부위에도 입되는 부가적 전단변형은 결정립초미세화에 중요한 역할을 한다⁶⁾. 만약 이와 같은 부가적 전단변형을 표면부위에만 국한되지 않고 재료 전체에도 도입 가능하다면 더욱 효과적으로 결정립초미세화 및 고강도화를 달성할 수 있을 것이다. 그러나 일반 압연기에서는 기하학적으로 재료 표면 부위에 도입되는 전단변형을 중심부위에 도입시킬 수가 없다. 그러나 상부 롤과 하부 롤의 속도를 달리한 비대칭 압연을 이용한다면 재료 전체적으로 균일한 압축변형 및 전단변형을 도입할

수가 있으므로 금속재료의 고강도화를 효과적으로 달성할 수 있을 것이라 사료된다. 그러므로 본 연구에서는 순 알루미늄의 ARB를 이주속압연으로 수행하여 미세조직 변화 및 기계적 특성 변화를 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 ARB 공정

본 연구에 사용된 재료는 1100 상업용 순알루미늄(0.1Si, 0.53Fe, 0.11Cu, 0.01Mn, 0.02Mg, 0.02Ti, 0.01V, Bal.Al)이다. 그림 1에 이주속 압연에 의한 ARB공정의 모식도를 나타내었다. 실험에 사용된 소재는 두께 1mm, 폭 20mm, 길이 200mm의 알루미늄 판재이다. 먼저, 동일 크기의 2매의 판재를 탈지 및 wire-brushing 등 표면처

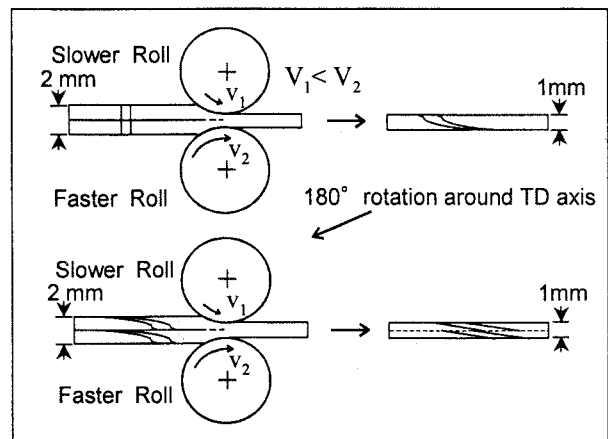


Fig. 1 비대칭 ARB 공정의 모식도.

리한 후, 적층하여 이주속압연으로 약 50%의 냉간압연을 하여 두께 1mm의 판재로 압접(roll-bonding)하였다. 그 후, 압접된 판재를 절반 길이로 절단한 후, 그림에서와 같이 TD축을 중심으로 180°회전시켜 균일한 전단변형이 도입되도록 겹친 후 접합압연을 행하였다. 본 실험에서는 이와 같은 이주속 ARB공정을 상온, 무윤활 조건에서 6 cycle 까지 진행하였다. 사용한 압연기는 롤 직경이 130mm인 2단 이주속 압연기였으며, 압연시의 롤주속은 각각 2m/min(상부), 3.6m/min(하부)였다 (롤 주속 차이: 1.8). 비교를 위하여 롤 주속 3.0m/min으로 동속압연에 의한 ARB도 수행하였다.

2.2 특성분석

ARB전후의 알루미늄의 미세조직을 투과전자현미경(TEM)으로 관찰하였다. TEM관찰용 시편은 jet-polishing하여 준비하였으며, TEM 관찰은 JEOL-2000FX로 200kV의 전압에서 행하였다.

기계적 성질은 상온에서의 인장시험으로 평가하였다. 인장시험을 위한 시편은 인장 방향이 압연 방향과 평행하도록 방전 가공기로 잘라서 준비하였다. 인장시험은 평행부의 길이가 32mm, 폭이 6mm의 인장 시편을 사용하여 Instron type의 인장 시험기를 사용하여 $1 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ 의 일정한 변형 속도로 행하였다. 전단변형의 도입 여부를 확인하기 위해 두께방향의 각기 다른 부위에서 불완전 {111} 극점도를 Shulz의 반사법으로 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 TEM 미세조직

그림2는 이주속압연에 의해 ARB가공된 시편의 TEM조직을 나타낸다. 우측의 제한시야회절도형(SAD)은 각 조직의 중심부위에서 $1.6 \mu\text{m}$ 의 조리개를 삽입하여 촬영했다. 2c 후의 시편은 전형적인 가공조직인 전위셀조직을 나타낸다. SAD도형도 FCC구조의 단순한 형상을 나타내는데 이것은 셀간의 방위차가 거의 없음을 시사해 준다. 그러나, 4c 후는 전위밀도가 감소하였으며 선명한 입계를 가진 초미세한 결정립들이 많이 관찰된다. SAD 도형에서도 회절점의 퍼짐과 여분의 회절점이 많이 관찰되며, 이것은 결정립 간에 방

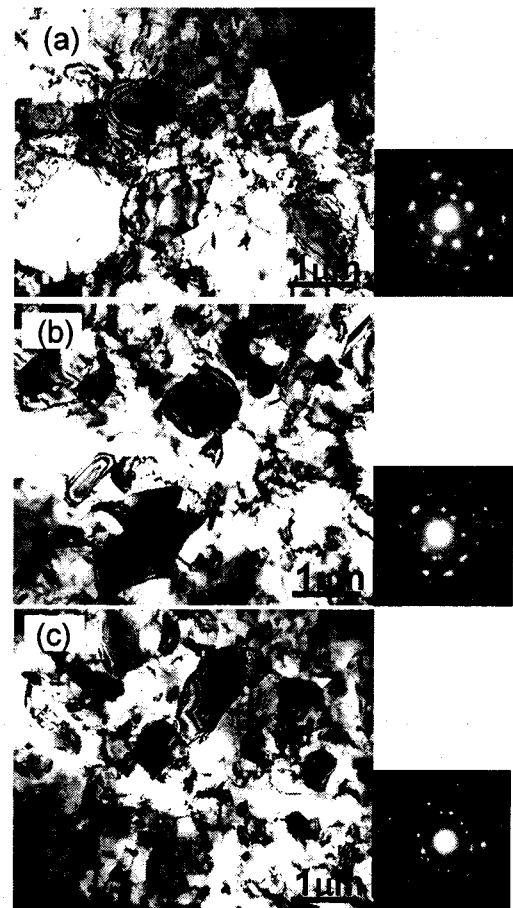


Fig. 2 이주속ARB 가공된 알루미늄의 TEM 조직 및 SAD 도형. (a)2cycles (b)4cycles (c)6cycles

위차가 큰 것을 나타내 준다. 6c 후의 시편에서는 형성된 결정립 크기가 더 미세해졌으며, 더욱 광범위하게 형성되어 있음을 확인할 수 있다. 그러나 동속 ARB의 경우 이와 같은 초미세립의 형성과정은 이주속ARB의 경우와 매우 유사하지만, 초미세립 형성에 필요한 최소한의 사이클 수(변형량)가 더 큰 것을 알 수 있었다. 그러므로, 이주속 ARB가 종래의 ARB에 비해 초미세립 형성을 효과적으로 달성한다고 할 수 있다.

3.2 기계적 성질

이주속ARB 가공된 시편의 기계적 성질을 그림 3에 나타내었다. 비교를 위하여 종래의 ARB에 의한 결과도 함께 나타내었다. 종래의 ARB의 경우, ARB사이클 수가 증가함에 따라 인장강도가 크게 증가하여, 6c 후에는 270MPa의 최고치에 달하는데, 이것은 초기재료의 3.2배에 상당하는 수치이다. 그런데, 그림과 같이, ARB사이클 수에

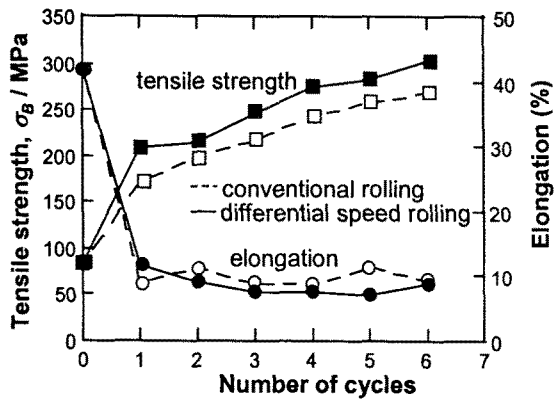


Fig. 3 이주속ARB 및 동속ARB에 의해 가공된 알루미늄의 기계적 성질.

이 증가함에 따라 강도가 크게 증가하여, 6c 후에는 304MPa에 달한다. 이것은 이주속ARB가 종래의 ARB에 비해 알루미늄의 강화에 더 효과적임을 입증해 준다. 이와 같이 이주속ARB에서 알루미늄의 강화효과가 더 큰 것은 실질적인 상당변형량이 더 크게 도입되었기 때문이다. 동속 압연의 경우 재료 표면 부위에만 도입되는 전단변형이 이주속 압연을 하게 되면 중심부위까지도 도입되어 실질적인 상당변형량이 증가하게 된다. 한편, ARB가공된 알루미늄의 연신율은 두 방법 사이에 큰 차이가 없으며 약 10%를 나타낸다.

그림4는 6c-이주속ARB 후 시편의 두께방향으로의 표면 부위, 1/4부위, 중심 부위 각각에서 측정된 불완전 {111} 극점도를 나타낸다. 그림에서 전단집합조직의 주 성분들인 {111}<110>, {112}<110>, {001}<110> 이 표면부위에 국한되지 않고 1/4 부위, 중심부위에서도 발달되어 나타나 있음을 알 수 있다. 이것은 이주속압연을 통하여 시편의 모든 부위에 압축변형과 동시에 전단변형이 도입되었음을 잘 나타내 준다. 이와 같은 전단변형의 효율적인 도입이 결정립초미세화를 촉진하여 강도 증가에도 효과적으로 작용하였으리라 사료된다.

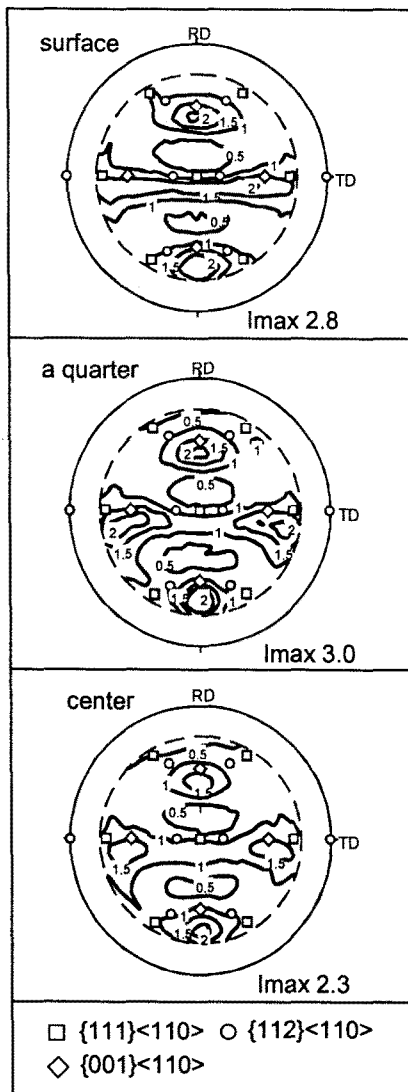


Fig. 4 비대칭ARB가공된 알루미늄의 두께방향의 각 부위에서 측정된 불완전 {111} 극점도.

참고문헌

1. R. Z. Valiev, N. A. Krasilnikov and N. K. Tsenev: Mater. Sci. Eng., A137, (1991), 35.
2. R. Z. Abdulov, R. Z. Valiev and N.A. Krasilnikov, Mater. Sci. Lett., 9, (1990), 1445.
3. J. Y. Huang, Y. T. Zhu, H. Jiang and T. C. Lowe, Acta Mater., 49, 1497 (2001)
4. Y. Saito, N. Tsuji, H. Utsunomiya, T. Sakai and R. G. Hong, Scripta Mater., 39, 1221 (1998).
5. N. Tsuji, Y. Saito, H. Utsunomiya and S. Tanigawa, Scripta Mater., 40, 795 (1999).
6. S. H. Lee, Y. Saito, N. Tsuji, H. Utsunomiya and T. Sakai, Scripta Mater., 46, 281 (2002).
7. S. H. Lee, Y. Saito, T. Sakai and H. Utsunomiya, Mater. Sci. Eng., A325, 228 (2002).

따른 인장강도의 증가율은 이주속ARB에서 더 큰 것을 알 수 있다. 이주속ARB에서도, 변형량