

반복겹침접합압연법에 의한 고강도 금속재료의 제조 Fabrication of High Strength Metallic Materials by Accumulative Roll-Bonding Process

이 성희*, 한 승전**, 임 차용**
* 국립목포대학교 신소재공학과
** 한국기계연구원(KIMM) 재료연구부

1. 서 론

최근, 금속재료의 결정립을 초미세화시킴으로 기계적 특성을 크게 향상시키는 강소성가공법들이 많은 주목을 받고 있다. 그 중에도, 구속전단가공법(ECAP),¹⁾ 극한비틀림변형법(STS),²⁾ 반복겹침접합압연법(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. 그러나 현재까지 실제 제품생산에의 실용화에 ARB공정이 적용된 사례는 보고되고 있지 않다. ARB공정이 제품생산에 실용화되기 위해서는 표면처리 등 공정의 효율화 및 고기능성 고부가가치 재료에의 적용 등 더 많은 연구가 필요하리라 판단된다. 본 연구에서는 IF steel 및 동합금의 고강도화를 목적으로 ARB공정을 적용하여 ARB공정된 재료들의 기계적 특성 및 미세조직 변화를 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 재료 및 ARB 공정

본 연구에 사용된 재료는 극저탄소IF강 및 시

판용의 고순도(99.99%) 무산소동이다. 그림 1에 ARB공정의 모식도를 나타내었다. 실험에 사용된 소재는 두께 1mm, 폭 30mm, 길이 300mm의 IF steel 및 무산소동 판재이다. 먼저, 동일 크기의 2매의 판재를 탈지 및 wire-brushing 등 표면처리한 후, 적층하여 약 50%의 냉간압연을 하여 두께 1mm의 판재로 압접(roll-bonding)하였다. 그 후, 압접된 판재를 절반 길이로 절단한 후, 표면처리, 압연 등 같은 방법으로 반복하여 접합압연을 행하였다. 본 실험에서는 이와 같은 ARB공정을 상온, 무윤활 조건에서 IF강의 경우 5c (c: 싸이클) 무산소동의 경우 8c 까지 행하였다. 사용한 압연기는 롤 직경이 210mm인 2단 압연기였으며, 압연시의 롤주속은 15.9m/min 였다.

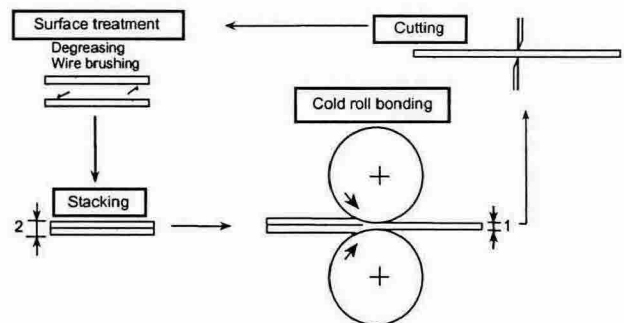


Fig. 1 ARB 공정의 모식도

2.2 특성분석

ARB전후의 IF강 및 무산소동의 미세조직을 광학현미경 및 투과전자현미경(TEM)으로 관찰하였

다. 광학현미경조직은 무산소동의 경우, $(NH_4)_2S_2O_8$ 의 10%수용액에서 화학부식한 후 압연면(ND면)에서 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 $1 \times 10^{-3} s^{-1}$ 의 일정한 변형을 속도로 행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세조직

IF강 및 무산소동 모두 접합이 양호한 고강도 재료를 성공적으로 제조할 수 있었다. 광학현미경조직을 통하여 두 재료 모두 1c후는 결정립들이 압연방향으로 연신된 전형적인 압연가공조직을 나타내며, 5c 후에는 결정립의 형상을 거의 식별할 수가 없을 정도로 결정립이 미세화 되어 있음을 확인하였다.

그림 2에 ARB 공정에 따른 IF강의 TEM 조직 변화(ND면) 및 제한시야회절도형(SADP)를 나타내었다. 3c 및 5c 재료 모두, Al 재료^{4,7)} 등에서 나타나는 초미세결정립 조직은 형성되지 않았으며 전형적인 가공조직인 전위 셀 조직(dislocation cell structure)을 나타냄을 알 수 있다. 또한 cell 간의 방위차이도 그다지 크지 않음을 SAD 도형으로 알 수 있다. IF강에서 이처럼 Al 과 아주 다른 조직을 나타내는 것은 가공온도가 낮아 회복이 발생하지 않았기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 무산소동의 경우[그림 3]는 IF 강과 아주 다른 조직을 나타낸다. 그림 3(a)에 화살표로 표시한 바와 같이 3c-ARB 공정된 무산소동은 크기가 약 450nm의 초미세결정립 조직을 나타내었다. SAD도형도 IF강과는 달리 회절반점의 퍼짐현상이 두드러지며 여분의 회절반점도 많이 나타나 거의 링 형상에 가까운 모양을 나타낸다. 이것은 형성된 초미세결정립이 Al의 경우⁴⁾와 같이 고경각입계를 가진 독립된 결정립임을 시사해 준다. 이와 같은 초미세결정립 조직은 8c 후

의 조직에서도 나타나지만 활발한 회복의 발생으로 결정립 크기는 다소 조대해진다[그림 3(b)].

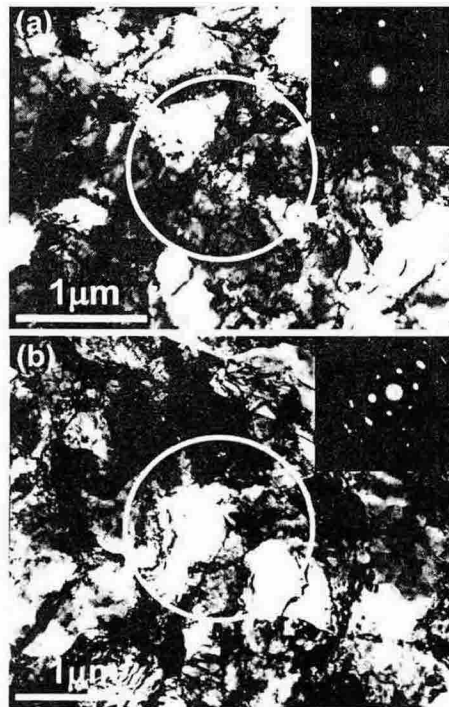


Fig. 2 ARB 공정된 IF강의 TEM 조직 및 SAD 도형 (ND면) (a) 3c 후 (b) 5c 후

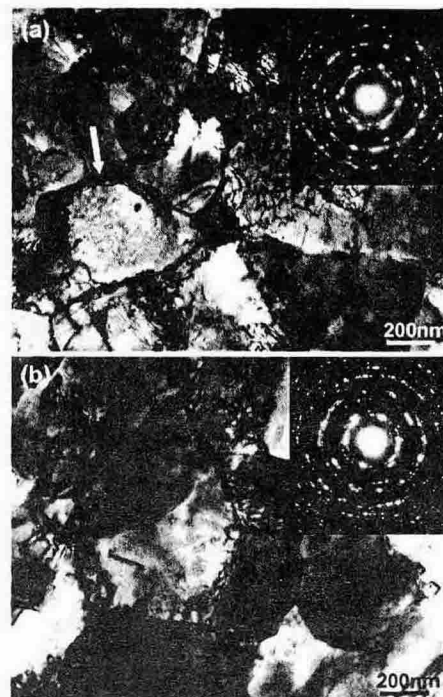


Fig. 3 ARB 공정된 무산소동의 TEM 조직 및 SAD 도형 (ND면) (a) 3c 후 (b) 8c 후

3.2 기계적 특성

그림 4 와 그림 5에 ARB 공정에 따른 IF강 및 무산소동의 기계적 특성의 변화를 각각 나타내었다. IF강의 경우, 사이클 수가 증가함에 따라 인장강도가 크게 증가하여 5c 후에는 ARB전 (284MPa)에 비해 약 3배 증가한 813MPa을 나타내었다. 그러나 연신율은 1c 후에 10% 이하로 크게 감소하였다. 이와 같은 기계적 특성의 변화는 ARB 공정된 AI 합금⁷⁾과 매우 유사하다. 그러나 무산소동의 경우는 다소 다른 기계적 특성을 나타낸다. 그림 5에서와 같이 3c까지는 인장강도가 증가하나 그 이후로는 사이클 수가 증가해도 큰 변화를 나타내지 않는다. 이것은 3c 이후 동적회복이 활발히 일어났기 때문인 것으로 사료된다. 그럼에도 불구하고 8c 후에 무산소동의 강도 (395MPa)가 ARB전(191MPa)에 비해 약 2.1 배 증가한 것은 주목할만하다 할 수 있다.

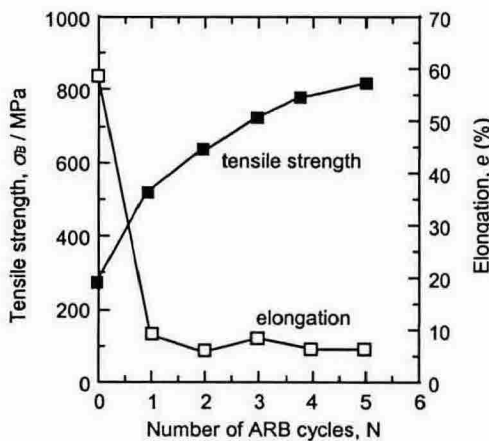


Fig. 4 ARB공정에 따른 IF강의 기계적 특성변화

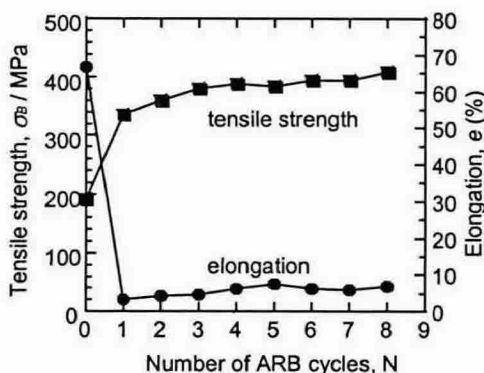


Fig. 5 ARB공정에 따른 무산소동의 기계적 특성 변화

4. 결 론

ARB법을 IF강 및 무산소동에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) ARB법은 IF강과 무산소동의 고강도화에 효과적인 공정이다.
- 2) ARB 공정에 따른 미세조직의 변화는 IF강과 무산소동에 있어서 다른 거동을 나타낸다. IF강의 경우 5c 까지 전형적인 가공조직인 전위셀 조직을 나타내지만, 무산소동의 경우는 3c 후에 결정립 크기가 약 450nm의 초미세결정립 조직을 나타낸다.
- 3) 인장강도는 IF강의 경우 사이클 수가 증가함에 따라 크게 증가하여 5c 후에는 ARB전 (284MPa)에 비해 약 3배 증가한 813MPa을 나타내지만, 무산소동의 경우 3c까지는 증가하나 그 이후로는 사이클 수가 증가해도 큰 변화를 나타내지 않는다.

후기

본 연구 과학기술부 21세기 프론티어 연구개발 사업인 '나노소재기술개발사업단'의 지원(과제번호: 05K1501-00231)으로 수행되었습니다.

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).