

AA2024/SiC_p 복합재료의 열간 가공성에 미치는 강화상 크기의 영향

고병철 · 홍흥기 · 유연철
인하대학교 공과대학 금속공학과

Effect of SiC Particle Size on Hot Workability of AA2024/SiC_p Composites

Byung-Chul Ko, Heung-Ki Hong and Yeon-Chul Yoo

Department of Metallurgical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

ABSTRACT

The hot deformation behavior of SiC_p/AA2024 composites reinforced with different sizes of SiC_p reinforcements (1, 8, 15, 36, and 44 μm) was investigated by hot torsion tests. The hot restoration of the composites depending on the SiC_p reinforcements particle size was studied from the effective stress - strain curves. Dynamic recrystallization (DRX) was occurred in the SiC_p/AA2024 composites during the hot deformation at 320 - 430 °C under a strain rate of 1.0/sec. Also, the critical strain for DRX decreased with decreasing the reinforcement size of SiC_p from 44 to 8 μm. The composite reinforced with SiC_p of 8 μm showed the highest flow stress (265 MPa) and the work hardening rate at 320 °C under a strain rate of 1.0/sec.

1. 서 론

Al 기 복합재료의 열간변형 특성은 첨가하는 강화상의 종류·양·크기 등에 영향을 받으며 기지금속과도 다른 거동을 보인다^{1, 2)}. 이때, 강화상은 변형동안에 기지재료의 미세조직 변화에 영향을 주고 변형 후 재결정 거동에도 영향을 미치므로 기지합금과는 다른 기계적·물리적 특성이 기대된다³⁾. 즉, 열간가공시 복합재료의 미세조직은 첨가하는 강화상 특성에 따라 달라지게 되며 또한 가공변수인 온도·변형속도 등의 조합에 의해서도 달라지게 되므로 이들의 상관관계를 정량적으로 밝히는 것이 복합재료의 열간 가공성 및 기계적 특성 향상 차원에서 중요하다고 할 수 있다^{4, 5)}.

따라서, 본 연구에서는 강화상인 SiC_p 입자 크기 (1, 8, 15, 36, 44 μm) 를 달리하여 분말법으로 제조한 15 Vol. % SiC_p/AA2024 복합재료의 열간변형시 SiC_p 입자 크기에 따라 동적재결정 (dynamic recrystallization: DRX)·동적회복 (dynamic recovery: DRV) 등의 고온연화가 어떻게 달라지는 지를 밝히고자 하였다. 또한, SiC_p 입자 크기에 따라서 동적재결정에 필요한 임계변형률 (critical strain) 에 차이가 있는지 그리고

유동응력 및 연신율도 차이가 있는지를 가공경화율 및 미세조직 변화와 관련하여 구명하고자 하였다.

2. 실험방법

기지재료로는 Al 2024 분말을 사용하였으며 강화상으로는 SiC_p (1, 8, 15, 36, 44 μm) 크기를 달리하여 분말법으로 15 Vol. % SiC_p/AA2024 복합재료를 제조하였다. 이를 위해 기지분말과 강화상을 72 시간 동안 불밀 후 520 °C 에서 열간성형하였으며, 430 °C 에서 압출비 25 : 1 로 압출하여 봉상의 압출재를 얻었다. 이 압출재를 기계가공하여 직경 7 mm, 측정부위 10 mm 의 비틀림 시편을 만들고 이를 용체화 처리하고 난 후, 320~500 °C 의 온도와 0.2~3/sec 의 변형속도 하에서 열간 비틀림 시험을 하였다. 이때, 얻어진 비틀림 모멘트 (M) 와 비틀림 각 (ϕ) 으로부터 von Mises 항복조건⁶⁾을 이용하여 유효응력 (effective stress) 과 유효변형률 (effective strain) 로 변환하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1(a) 와 (b) 는 일정 변형속도 (1.0/sec) 하에서 320 °C 와 430 °C 에서 변형하고 난 후의 SiC_p/AA2024 복합재료의 유동응력 곡선으로서, 강화상인 SiC_p 첨가로 인해 기지재료보다 유동응력이 증가하였음을 알 수 있었는데 이는 변형중에 SiC_p 가 기지조직의 전위밀도를 증가시켜서 결정립 크기가 작아졌기 때문이었다. 강화상 크기에 따른 유동응력은 그림 1(a) 에서 알수있는 바와 같이, 8 μm 크기의 SiC_p 를 강화한 복합재료가 가장 큰 값을 보였으며 (~265 MPa), 44 μm 크기의 SiC_p 를 강화한 복합재료는 가장 작은 값을 보였다 (~245 MPa). 또한, 1 μm 크기의 SiC_p 를 강화한 복합재료의 유동응력은 8 μm 크기의 SiC_p 를 강화한 복합재료다 낮았는데 이는 기지조직내에서 강화상의 불균일 분포와 기지조직에서 강화상으로의 응력전달 (load transfer) 능이 차이가 있기 때문이라고 판단된다. 즉, SiC_p 크기가 1 μm 로 작은 복합재료의 경우에는 강화상끼리의 뭉침 (agglomeration) 현상 때문에 강화상이 많은 영역 (rich region) 과 드문 영역 (poor region) 을 형성하고, SiC_p 사이의 입자간 거리도 일정하지 않게 되므로 변형중 전위이동을 효과적으로 방해하지 못하게 되고 응력전달도 균일하게 일어나지 못하기 때문이다. 430 °C 에서의 유동응력 수준도 그림 1(b)에서 알 수 있는 바와 같이, 320 °C 의 경우와 마찬가지로 8 μm 크기의 SiC_p 를 강화한 복합재료가 ~95 MPa 로 가장 큰 값을 보였으며 44 μm 크기의 SiC_p 를 강화한 복합재료가 ~86 MPa 로 가장 작은 값을 보였다. 또한, 복합재료들간의 유동응력 차는 320 °C 의 경우보다 줄어든 것으로 보아 온도가 증가할수록 SiC_p/AA2024 복합재료의 유동응력에 미치는 강화상 크기의 효과가 감소함을 알 수 있었다.

유동응력 곡선의 형태는 모든 강화상 크기의 복합재료가 최대응력 (peak stress) 과 정상상태 (steady state) 를 갖는 동적재결정의 응력곡선을 보여주고 있다. 동적재결정에 필요한 임계변형률 (critical strain, ϵ_c) 값은 그림 2 의 가공경화율 ($\theta = d\sigma/d\epsilon$) 과 유효변형률 (ϵ) 과의 관계에서 가공경화율이 직선적으로 급격히 감소하는 구

간과 완만하게 감소하는 구간사이의 변곡점으로부터 구할 수 있는데, 이를 이용하여 320 °C, 1/sec 변형조건에서 SiC_p/AA2024 복합재료의 ϵ_p 값을 구하여 보면 8 μm 크기의 SiC_p 를 강화한 복합재료가 가장 작은 값을 보였으며 강화상 크기가 44 μm 로 커질수록 ϵ_c 는 증가하였으나 최대변형률 (peak strain, ϵ_p) 은 거의 일정한 값을 보였다. 예를 들면, 8 μm 크기의 SiC_p 를 강화한 복합재료에서는 ϵ_c 와 ϵ_p 는 각각 0.078 과 0.113 였으며, 36 μm 크기의 SiC_p 를 강화한 복합재료에서는 ϵ_c 와 ϵ_p 가 각각 0.094 과 0.117 이었다. 따라서, SiC_p/AA2024 복합재료의 ϵ_c 은 강화상 크기에 따라 다름을 알 수 있는데 이는 동적재결정 발생시 ϵ_c 에 도달하기 위한 θ 의 차이로 해석할 수 있겠다. 즉, 그림 2 의 일정 변형률 ($\epsilon=0.05$) 에서 복합재료의 θ 값을 비교해 보면 8 μm 크기의 SiC_p 를 강화한 복합재료가 가장 큰 θ 값을 보이고 있으며, 44 μm 크기의 SiC_p 를 강화한 복합재료가 가장 작은 θ 값을 보이고 있다. 그러므로, SiC_p/AA2024 복합재료의 고온변형 초기에는 θ 이 클수록 동적재결정의 핵생성을 위한 ϵ_c 은 감소함을 알 수 있으며, 강화상 크기가 8 μm 일 때가 36 μm 일 때보다 ϵ_c 의 감소에 보다 효과적임을 알 수 있다. 이와 같이 복합재료의 고온변형시 강화상 크기에 따른 ϵ_c 의 차이는 초기변형량에 따라 유동응력 및 미세조직도 달라질 수 있음을 보여주는 결과로서, 이는 실제 압연·압출·단조 등의 열간 소성가공 공정에서 SiC_p/AA2024 복합재료의 열간 가공성을 향상시키기 위해서는 초기 변형률 및 패스 (pass) 변형형률을 몇 퍼센트로 해야 하는지도 결정할 수 있는 중요한 결과라 하겠다.

4. 결론

SiC_p/AA2024 복합재료의 유동응력은 강화상 SiC_p 의 첨가로 인해 기지합금보다 높게 나타났으며, 그중 8 μm 크기의 SiC_p 를 강화한 복합재료가 가장 높은 유동응력을 보였다. SiC_p/AA2024 복합재료의 고온연화기구는 동적재결정임을 알 수 있었으며 동적재결정에 필요한 임계변형률 (ϵ_c) 값은 강화상 크기가 8 μm 일때가 가장 작은 값을 보였는데 이는 기지재료로부터 강화상으로의 응력전달이 가장 효과적이었기 때문이었다.

후기

본 연구는 1996년도 교육부 학술연구조성비(신소재 분야)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

5. 참고문헌

1. R. J. Arsenault, L. Wang and C. R. Feng, Strengthening of Composites due to Microstructural Changes in the Matrix, *Acta Metall. Mater.*, **39** (1991) pp. 47-57.
2. S. I. Hong, G. T. Gray III and J. J. Lewandowski, Dynamic Deformation Behavior of Al-Zn-Mg-Cu Alloy Matrix Composites Reinforced with 20 vol. %

SiC, *Acta Metall. Mater.*, **41** (8) (1993) pp. 2337-2351.

3. F. J. Humphrey, W. S. Miller, and M. R. Djazeb, Microstructural development during thermomechanical processing of particulate metal-matrix composites, *Mater. Sci. Tech.*, **6** (1990) pp. 1157-1166.

4. 고병철, 전정식, 유연철, SiCp/Al-Si 복합재료의 정적연화가 열간가공성에 미치는 영향, 한국소성가공학회 '95추계학술대회 논문집, (1995) pp. 172-180.

5. Y-C. Yoo, J-S. Jeon and B-C. Ko, Hot Deformation and Dynamic Recrystallization of SiC_w/AA2124 Composites, *Materials Science Forum*, **217 - 222** (1996) pp. 1157-1162.

6. J. R. Davis et al., eds., *Metals Handbook*, Vol. 8 (Metals Park, OH: American Society for Metals) (1985) pp. 154-184.

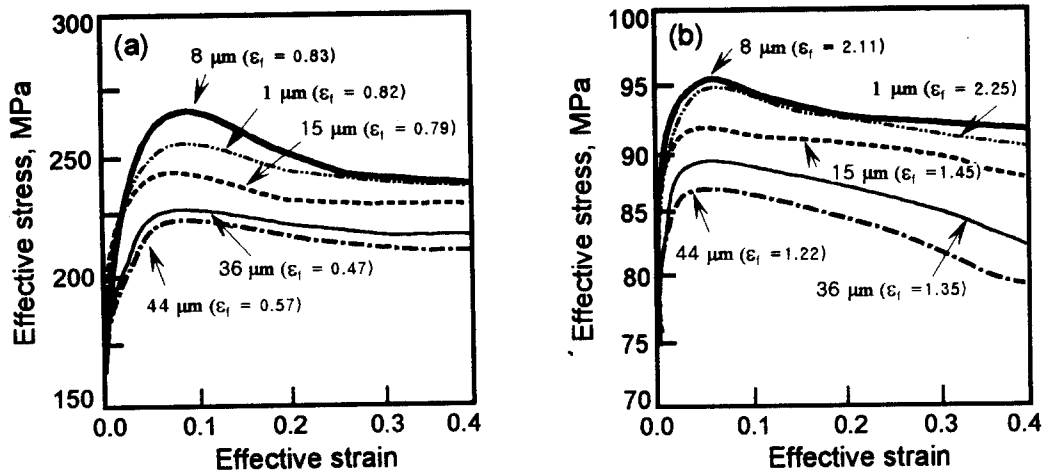


Fig. 1. Effective stress and effective strain curves of the SiC_p/AA2024 composites deformed at (a) 320 and (b) 430 °C under a strain rate of 1.0/sec.

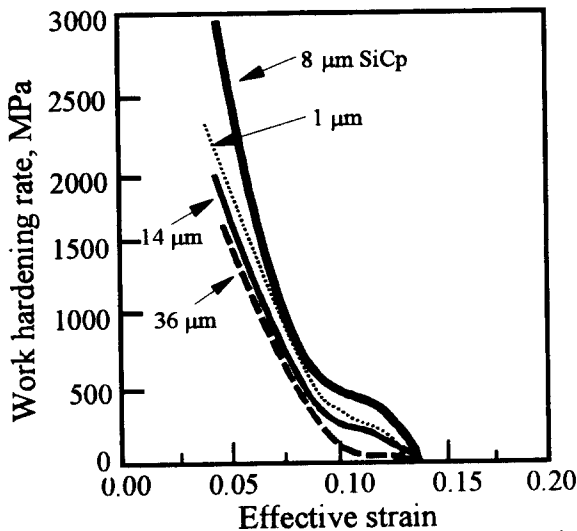


Fig. 2. Relationship between the work hardening rate and effective strain of the SiC_p/AA2024 composites deformed at 320 °C under a strain rate of 1.0/sec.