

AA2024/SiC_p 복합재료의 고온소성에 미치는 SiC_p의 영향

고병철·유연철
인하대학교 공과대학 금속공학과

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

Byung-Chul Ko and Yeon-Chul Yoo
Department of Metallurgical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

ABSTRACT

Hot workability of SiC_p/AA2024 composites reinforced with different vol. % of SiC_p reinforcements (0, 5, 10, 15, 20, and 30 vol. %) was investigated by hot torsion tests. Hot restoration of the composites was studied from the flow curves and deformed microstructures. Dynamic recrystallization (DRX) was occurred in all the composites during the hot deformation at 370 - 430 °C under a strain rate of 1.0/sec. Also, the flow stress of the composites increased with increasing the SiC_p reinforcement vol. % and the difference of flow stress between the composites decreased with increasing the deformation temperature.

1. 서론

SiC_p 또는 SiC_w 등을 강화한 Al 기 복합재료의 고온소성 특성은 그 제조공정은 물론 첨가하는 강화상의 종류^{1, 2)} 나 크기³⁾ 에 따라 결정립 크기와 전위밀도 등이 차이가 나므로 강화상 특성에 영향을 받음은 물론 기지합금의 종류에 따라서도 달라지게 된다. 또한 기지조직내의 강화상 분포도 복합재료의 강도나 신율 등에 영향을 미치게 되므로 고온소성 변형동안 강화상 역할을 이해하는 것은 복합재료의 소성변형능을 향상시키기 위해서 중요하다고 할 수 있다⁴⁾. 특히, 복합재료의 고온연화 특성은 강화상을 첨가하지 않은 기지재료와는 달리 어떤 임계온도 이상에서는 강화상 계면에서 전위가 소멸할 수 있으므로 기지재료와는 다른 연화특성이 보고되고 있다³⁾. 또한 고온 소성변형시 온도(T)·변형속도($\dot{\epsilon}$) 등에 따라서도 가공경화 차이에 의한 전위증식, 확산속도 그리고 강화상 계면에서의 균열생성·전파 정도가 달라지게 되므로 이들의 상관관계를 미세조직 변화와 관련하여 밝히는 것도 복합재료의 고온소성 및 기계적 특성을 향상시키기 위해서 필요하다고 할 수 있다^{5, 6)}.

따라서, 본 연구에서는 SiC_p의 부피분율을 달리하였을 경우에 SiC_p 첨가량에 따라 복합재료의 고온소성 특성이 어떻게 달라지는지를 밝히고자 한 것이다. 즉,

SiC_p/AA2024 복합재료의 열간변형시 SiC_p 부피분율에 따라 동적재결정 (dynamic recrystallization: DRX) · 동적회복 (dynamic recovery: DRV) 등의 고온연화가 어떻게 달라지는 지를 미세조직 변화와 관련하여 밝히고자 하였다.

2. 실험방법

기지재료로는 Al 2024 분말 (~44 μm) 을 사용하였으며 강화상 (8 μm) 으로는 SiC_p 를 사용하여 SiC_p 부피분율 (0, 5, 10, 15, 20, 30 vol. %) 을 달리하여 분말법으로 SiC_p/AA2024 복합재료를 제조하였다. 제조공정으로는 기지분말과 SiC_p 를 72 시간 동안 불밀 후 520 °C 에서 가압성형하였으며, 430 °C 에서 압출비 25 : 1 로 압출하여 봉상의 압출재를 얻었다. 고온소성 평가는 이 압출재를 기계가공하여 직경 7 mm, 측정 부위 10 mm 의 비틀림 시편을 만들고 이를 용체화 처리하고 난 후, 320~500 °C 의 온도와 1.0/sec 의 변형속도 하에서 열간 비틀림 시험법으로 하였다. 이때, 얻어진 비틀림 모멘트 (M) 와 비틀림 각 (φ) 으로부터 von Mises 항복조건⁷⁾을 이용하여 유효 응력 (effective stress) 과 유효변형률 (effective strain) 로 변환하였으며 연화특성은 변형후 유동곡선과 변형조직으로부터 구명하였으며 변형조직은 광학현미경과 투과전자 현미경을 이용하여 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1(a) 와 (b) 는 일정 변형속도 (1.0/sec) 하에서 370 °C 와 430 °C 에서 변형하고 난 후의 SiC_p/AA2024 복합재료 및 기지재료의 유동응력 곡선으로서, 강화상인 SiC_p 첨가로 인해 기지재료보다 유동응력이 증가함은 물론 SiC_p 부피분율 증가에 따라라도 유동응력은 증가하였으며, 이때 30 vol. % 의 SiC_p 를 강화한 복합재료가 가장 큰 값 (~171 MPa) 을 보였다. 즉, SiC_p/AA2024 복합재료의 SiC_p 부피분율에 따른 유동응력의 변화는 변형온도에 따라 달라졌는데, 그림 1(a) 에서와 같이 370 °C 이하에서 변형한 경우 ~15 vol. % SiC_p 까지는 유동응력이 온도증가에 따라 거의 직선적으로 증가하다가 430 °C 이상에서는 완만하였으며 480 °C 에서는 모든 복합재료의 유동응력이 기지재료와 비슷한 값 (50~60 MPa) 으로 나타났다. 이는 SiC_p/AA2024 복합재료의 유동응력이 온도가 증가함에 따라 감소함은 물론 SiC_p vol. % 첨가효과가 15 vol. %에서 가장 효과적임을 나타내는 것으로서 ~480 °C 에서는 기지재료와 비슷한 응력으로 압연 · 단조 · 압출 등의 고온소성이 가능함을 의미하는 것이다.

그림 1 (a) 에서와 같이, 370 °C에서 변형한 경우 모든 복합재료의 유동응력 곡선 형태는 최대응력 (peak stress) 피크를 보이는 동적재결정 (dynamic recrystallization, DRX) 의 유동응력 곡선을 보여주고 있다. 동적재결정에 필요한 임계변형률 (critical strain, ε_c) 값은 가공경화율 (θ=dσ/dε) 과 유효변형률 (ε) 과의 관계에서 가공경화율이 직선적으로 급격히 감소하는 구간과 완만하게 감소하는 구간사이의 변곡점으로부터 구할 수 있는데⁸⁾, 이를 이용하여 370 °C, 1.0/sec 변형조건에서 5, 10, 15, 20, 30 vol. % SiC_p/AA2024 복합재료의 ε_c 값을 구하여 보면 30 vol. % 의 SiC_p 를 강

화한 복합재료가 가장 작은 값을 보였으며 5 vol. %의 SiC_p를 강화한 복합재료가 가장 큰 값을 보였다. 즉, SiC_p/AA2024 복합재료의 ϵ_c 은 SiC_p 부피분율에 따라 다름을 알 수 있는데 이는 동적재결정 발생시 ϵ_c 에 도달하기 위한 가공경화율 (work hardening rate, θ)의 차이로 해석할 수 있겠다. 즉, 일정 변형량에서 복합재료의 θ 값을 비교해 보면 30 vol. %의 SiC_p를 강화한 복합재료가 가장 큰 θ 값을 보이고 있으며, 5 vol. %의 SiC_p를 강화한 복합재료가 가장 작은 θ 값을 보이고 있다. 그러므로, SiC_p/AA2024 복합재료의 고온소성시 DRX의 핵생성을 위한 ϵ_c 은 θ 이 클수록 감소함을 알 수 있다. 이와 같이 복합재료의 고온변형시 SiC_p 부피분율에 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. 결 론

SiC_p 부피분율 (0, 5, 10, 15, 20, 30 vol. %)을 달리한 SiC_p/AA2024 복합재료의 유동응력은 SiC_p의 첨가로 인해 기지재료보다 높게 나타났으며, 그 중 30 vol. %의 SiC_p를 강화한 복합재료가 ~116 MPa (370, 1.0/sec)로 가장 높은 유동응력을 보였다. 모든 복합재료에서 고온연화기구는 동적재결정임을 알 수 있었으며 동적재결정에 필요한 임계변형률 (ϵ_c) 값은 SiC_p가 30 vol. %일때 가장 작은 값을 보였다.

후기

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

5. 참고문헌

1. Yeon-Chul Yoo, Jeon-Sic Jeon and Ho-In Lee, The Effect of SiC Whiskers on the Hot Deformation Behavior of SiC_w/AA2124 Composites, *Comp. Sci and Technol.*, 57 (1997) 651-654.
2. Byung-Chul Ko and Yeon-Chul Yoo, Hot Deformation Behavior of AA2124 Composites Reinforced with Both Particles and Whiskers, *Comp. Sci. and Technol.* accepted (7, 1997).
3. Byung-Chul Ko and Yeon-Chul Yoo, Hot Deformation Behavior of SiC_p/Al2024 Composites Reinforced with Different Sizes of SiC_p Reinforcement, *Mater. Sci and Technol.* submitted (8, 1997).
4. F. J. Humphrey, W. S. Miller, and M. R. Djazeb, Microstructural Development during Thermomechanical Processing of Particulate Metal-matrix Composites, *Mater. Sci. and Technol.*, 6 (1990) pp. 1157-1166.

5. C. Y. Barlow and N. Hansen, Deformation Structures and Flow Stress in Aluminum Containing Short Whiskers, *Acta metall. mater.*, **39** (8) (1991) pp. 1971-1979.
6. L. Wei and J. C. Huang, Influence of Heat Treatment and Hot Working on Fracture Toughness of Cast Aluminum Base Composites, *Mater. Sci and Technol.*, **9** (1993) pp. 841-852.
7. J. R. Davis et al., eds., *Metals Handbook*, Vol. 8 (Metals Park, OH: American Society for Metals) (1985) pp. 154-184.
8. N. D. Ryan and H. J. McQueen, Work Hardening, Strength and Ductility in the Hot Working of 304 Austenitic Stainless Steel, *High Temp. Technol.*, **8** (1990) pp. 27-44.

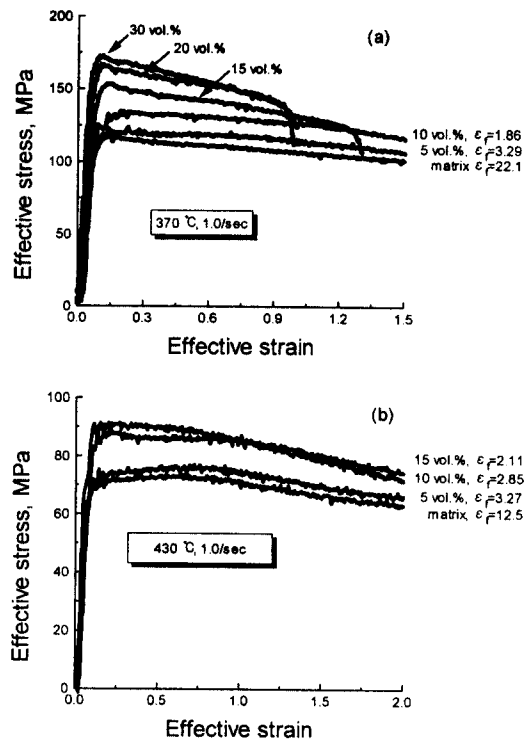


Fig. 1. Effective stress and effective strain curves of the SiC_p/AA2024 composites reinforced with different SiC_p vol. % deformed at (a) 370 and (b) 430 °C under a strain rate of 1.0/sec.