

변형효율을 이용한 SiC_p/Al6061 복합재료의 열간가공성 평가

박도현 · 고병철 · 유연철
인하대학교 재료공학부

Evaluation of Hot Workability for SiC_p/Al6061 Composites by Deformation Efficiency

Do-Hyun Park, Byung-Chul Ko and Yeon-Chul Yoo
School of Materials Science and Engineering, Inha University 402-751, Korea

ABSTRACT

The high temperature deformation behaviour of 15vol.% SiC_p/Al6061 composites has been studied in the temperature range of 300~550°C and the strain rate range of 0.1~3.0/sec by torsion test. On the basis of the flow stress data, the strain rate sensitivity(m) of the material is evaluated and used for calculating the deformation efficiency(η) [$\eta=2m/(m+1)$]. A domain of dynamic recrystallization(DRX) could be identified in these maps by using the deformation efficiency. The characteristic of these results has been investigated with the help of determining the region of optimum hot working condition.

1. 서 론

재료를 원하는 형상으로 가공하기 위하여 고온가공시 가장 중요한 것은 결함이 없는 건전한 미세조직을 얻기 위해 최적의 가공조건을 결정하는 문제이다. 따라서, 최근에는 재료가공에 있어서 체계적이고 재현가능한 유한요소해석등의 수치해석방법이나 모델링방법등이 시도되고 있다¹⁾. 그 예로 Prasad등은 열간가공시 얻어지는 변형속도에 따른 유동곡선의 변화로부터 재료의 고온변형거동을 모

델²⁾로 제시하였는데, 이는 변형을 받는 재료가 파워분산자(power dissipator)로 작용하여 외부로부터 가해진 파워는 열발생과 관련된 파워분산을 나타내는 G항과 미세조직적변화와 관련된 파워분산을 나타낸 J항으로 나타낼수 있다. J항과 G항은 유동응력의 변형속도민감도(m)로 나타낼수 있으며, 일정한 온도 일정한 변형량에서 J항은 다음식과 같이 나타낼수 있다³⁾.

$$J = \int \dot{\epsilon} \cdot d\sigma = \frac{\sigma \cdot \dot{\epsilon} \cdot m}{m+1}$$

이상적인 분산자인 경우 $m=1$ 이고, $J=J_{\max} = \sigma \dot{\epsilon} / 2$ 로 표현할수 있으며, 비이상적인 분산자인 경우 고온가공시 동적재료거동에 의한 변형효율은 다음과 같이 표현할수 있다.

$$\eta = \frac{J}{J_{\max}} = \frac{2m}{m+1}$$

온도와 변형속도에 따른 변형효율(η)의 변화는 가공재료면의 미세조직적인 변화를 통해 발생하는 파워분산의 특성을 나타낸다.

따라서, 본 연구에서는 SiC_p첨가에 따른 Al합금기 복합재료의 미세조직의 특성이 가장 우수하게 나타나는 최적열간가공조건을 변형효율의 변화에 따라 어떻게 달라지는지 변형지도(deformation map)를 작성하여 제시하고자 하였다.

2. 실험방법

15vol.% SiC_p/Al6061복합재료를 제조하기 위해 기지재료로는 Al6061 분말을, 강화상으로는 SiC_p(~8 μm)를 사용하여 분말법으로 SiC_p/AA6061 복합재료를 제조하였고, 기지(matrix)의 화학성분은 표1과 같다. 제조는 기지분말과 SiC_p를 볼밀로 72시간동안 혼합 후 530℃로 열간성형(hot press)하고 430℃에서 압출비 25:1로 압출하여 압출봉(φ10)을 얻었으며, 비틀림 시험을 위하여 압출봉을 기계가공하여 직경 7mm, 측정부위 10mm의 시편을 제작하였다. 시편을 용체화처리(530℃)후 300~550℃의 온도구간에서 변형속도를 0.1~3.0/s로 달리하여 비틀림 시험을 하였다. 비틀림 모멘트와 변형속도의 관계로부터 변형속도 민감도(m)값을 구한 후 고온연화 및 미세조직변화와 관련된 파워분산효율(η)=2m/(m+1)을 계산하였다.

3. 실험결과

그림 1-(a)(b)는 변형률이 각각 0.2와 0.4일 때 8 μm-SiC_p/Al6061 복합재료의 변형효율을 변형속도와 변형온도의 2차원의 평면에 나타낸 것인데, 변형온도가 높고 변형속도가 낮은 영역에서 효율값이 높게 나타남을 알 수 있다. 변형률이 0.2에서 0.4로 증가함에 따라 변형효율이 약간 증가하였으나 변형지도의 전반적인 형태는 거의 유사하게 나타나고 있다. 이와같은 현상은 고온유동응력값이 변형률이 증가함에 따라 정상상태에 도달하였기 때문이라 판단된다^{4,5}). 그림 2에서와 같이 변형률에 따른 파워분산효율의 변화가 작아 그 결과 지도의 형태도 큰 변화가 없는 것파도 일치한다. 그러나, 변형속도나 온도는 파워분산의 주체인 고온변형기구의 달라짐으로 인하여 효율에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

최대효율을 나타내는 영역은 450~500℃에서 변형속도가 0.2~0.5/sec인 경우이다. 변형효율값은 ~40%로써 동적재결정(DRX)과 관련된 변형효율값이다. 이와 같이 변형효율에 따라 동적재결정(DRX)이 발생할수 있는지는 앞선 시험결과⁶)에서 변형후 미세조직변화와 관련하여 비슷한 변형효율값을 제시한바 있다. 이 조건에서 동적재결정의 변형조직을 확인하기 위해 TEM으로 관찰한 사진을 그림 3에 나타내었다. 그림에서와 같이 고온변형동안 동적재결정 발생으로 인해 결정립내에 아결정립이 발달하였음을 알수 있고 전위도 관찰됨을 알수 있다. 그림 4는 변형률이 0.5일 때 1 μm SiC_p/Al6061 복합재료의 변형지도를 나타낸 것이다. 최대효율을 나타내는 영역은 변형속도가 0.2~0.5/sec일 때 370~430℃범위의 영역이다. 변형효율값은 ~35%로써 8 μm일 때보다 약간 낮았다. 고온으로 갈수록 유동곡선의 거동과 비교하여 볼 때 DRV로의 고온연화천이가 일어남을 알 수 있는데, 이는 온도가 높게 되면 SiC_p계면에서 전위가 상승할 수 있어 가공경화효과가 미약해질뿐만 아니라 기지재료의 소성유동을 효과적으로 방해하지 못하여 DRX의 핵생성에 필요한 임계전위밀도에 도달하지 못하기 때문이라 판단되며 더불어 효율값이 감소한다. 또한 이 외의 높은 효율값을 가진 영역이라 하더라도 불안정 소성유동으로 인한 새로운

계면 형성으로 효율값이 높을수 있으니 반드시 조건영역에서의 조직과 비교 관찰하여야 한다⁶⁾. 예를 들어 단단한 입자를 함유한 재료에서 저온·고변형속도하에서 입자주위에 공동(void)을 형성하여 파괴가 일어날 수 있으며, 고온·저변형속도하에서 결정립계나 3중점에서 썩기균열등이 발생하여 파괴가 발생할 수 있으므로 이 영역에서의 가공조건은 피해야 할 것이라 사료된다.

4. 결 론

변형효율을 이용하여 변형량이 0.2, 0.4일 때 300~550°C의 온도구간과 0.1~3.0/sec의 변형속도구간에서 15vol.% SiC_p/Al6061 복합재료를 열간변형거동을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 변형률은 변형속도와 변형온도와는 달리 변형지도의 형태에 큰 영향을 미치지 않았다. 이는 이 실험범위에서의 고온유동응력값이 정상상태의 거동을 보이기 때문이라고 판단된다.

2. 강화상이 8 μ m일 때 450~500°C 온도구간, 0.2~0.5/sec 변형속도구간에서 최대변형효율값(~40%)을 가지며, 이는 동적재결정발생과 관련된 효율값이라 판단된다.

3. 강화상이 1 μ m일 때 최대변형효율값(~35%)은 370~430°C, 0.2~0.5/sec의 구간에서 나타났으며 강화상이 8 μ m일 때보다 약간 작았다.

4. 변형효율값이 높더라도 불안정 소성유동으로 인한 새로운 계면형성으로 효율값이 높을수 있으므로 반드시 반응조건에서의 비교조직과 비교 관찰한다.

참고문헌

1. Y.V.R.K. Prasad, H.L. Gegel, S.M. Doraivelu, J.C. Malas, J.T. Morgan, K.A. Lark, and D.R. Barker: Metall. Trans. A, 1984, vol.15A, pp.1883-92

2. R. Raj: Metall. Trans., 1981, 12A, pp.1089-1097

3. H.L. Gegel, J.C. Malas, S.M. Doraivelu, and V.A. Shende: Metals Handbook, ASM, Metals Park, OH, 1987, vol.14, p.417

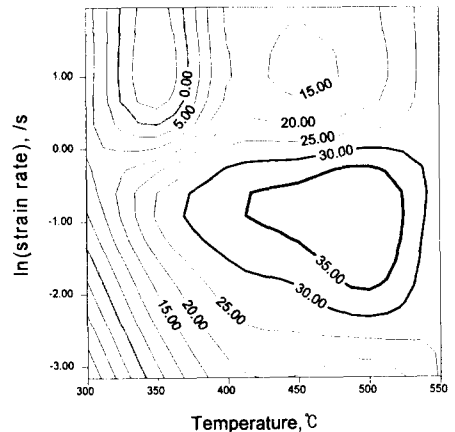
4. 고병철: 박사학위논문, 'SiC 강화입자 Al 2024 복합재료의 고온변형거동 및 동적연화현이에 관한 연구', 1999.

5. N. Srinivasan, and Y.V.R.K. Prasad: Mater. Sci. and Technol., 1992, vol. 8, pp. 206-212

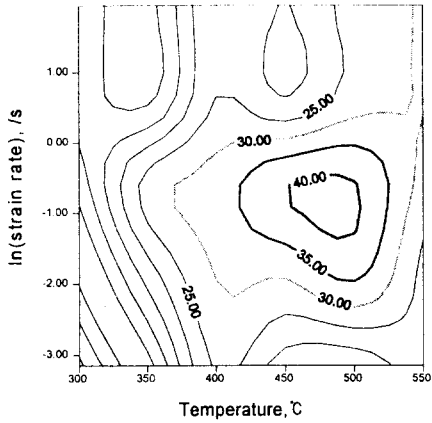
6. B.V. Radhakrishna Bhat, Y.R. Mahajan, H.Md. Roshan, and Y.V.R.K. Prasad: Mater. Sci. and Technol., 11, pp. 167-173

Table. 1. Chemical composition(wt%) of the Al6061 powder

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Al
0.43	0.17	0.27	0.04	0.55	0.05	0.02	bal.



(a)



(b)

Fig 1. Deformation map of 15vol.%SiCp(8 μ m)/Al6061 composites showing a variation of efficiency of power dissipation with temperature and strain rate. (a) $\epsilon=0.2$, (b) $\epsilon=0.4$.

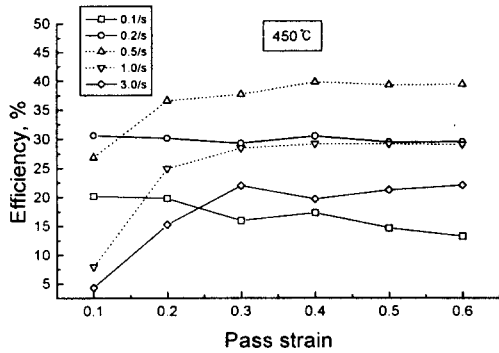


Fig. 2. Variation of power dissipation efficiency with pass strain and strain rate for 15vol.%SiCp(8 μ m)/Al6061 composites at 450°C

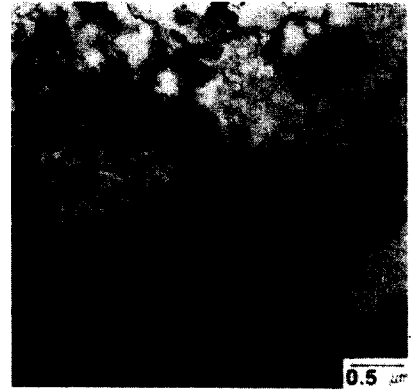


Fig. 3. TEM microstructure of 15vol.%SiCp(8 μ m)/Al6061 composites deformed at 480°C, 0.5/s

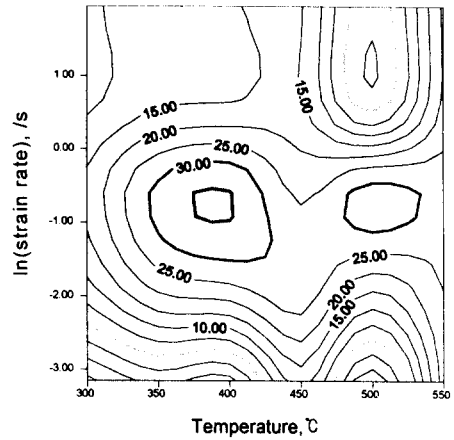


Fig. 4. Deformation map for 15vol.%SiCp(1 μ m)/Al6061 composites showing a variation of efficiency of power dissipation with temperature and strain rate. at $\epsilon=0.5$