

**Vacuum Hot Pressing에 의해 제조된 SiCw/2124Al
금속복합재료의 기계적 성질 및 미세구조**
(Mechanical Properties and Microstructure of Vacuum Hot Pressed
SiCw/2124Al Metal Matrix Composite)

홍순형, 정경현*
한국과학기술원 재료공학과

1. 서론

강도와 탄성계수가 높은 세라믹 계열 강화재를 포함한 금속복합재료는 경량 고강도 재료로서 많은 주목을 받아왔으며 가능한 응용분야로서는 금속복합재료의 장점인 좋은 비강도, 비강성을 필요로 하는 우주, 항공, 자동차 및 통신분야등이 있다. 일반적으로 금속복합재료를 분말공정법에 의하여 제조하는 경우 비용이 많이 소요되지만 좋은 기계적 성질을 나타내는 것으로 알려져 있다. 그동안 단일상 금속에 대해 분말공정인자가 미치는 영향이 조사된 바 있으나, 금속복합재료에 대하여는 그 연구가 미진한 상태이다. 최근에 몇몇 연구자에 의해 제조공정인자가 복합재료의 기계적 성질에 미치는 영향에 대한 조사가 이루어지고 있으나 기계적 성질이 미세구조와 밀접한 연관성을 가지고 있으므로, 제조공정인자에 의한 미세구조의 변화를 알아야 기계적 성질 변화를 설명할 수 있다. 이전의 대부분 연구들은 이와 같은 단계에 이르지 못하고 기계적 성질의 현상적인 기술에 그치고 있는 실정이다.

본 연구에서는 20%의 SiC 휘스커강화 2124 기지 금속복합재료를 분말공정법에 의하여 제조하여, vacuum hot pressing 온도와 압력에 따른 기계적 성질의 변화를 미세구조적인 변화, 즉 휘스커의 aspect ratio 및 복합재료의 밀도에 연관지어 설명하였다. 그리고 이들 관계를 이용하여 복합재료의 기계적 성질과 휘스커의 aspect ratio 및 밀도사이의 경험적인 관계식을 도출하였다.

2. 실험방법

평균직경 20 μ m인 2124Al 분말과 직경 1.5 μ m, 길이 40-50 μ m인 β -SiC 휘스커를 사용하여 휘스커 부피분율 20%의 SiCw/2124Al 금속복합재료를 제조하였다. 기지분말과 휘스커는 pH9인 에틸알콜내에서 습식혼합을 행하였고, 혼합된 분말은 vacuum hot pressing법에 의하여 성형되었다. 제조시 분말체는 1×10^{-5} Torr의 압력하에서 탈가스 처리를 한 뒤 성형되었으며 vacuum hot pressing 조건은 485-600 $^{\circ}$ C 였고 압력은 50-90MPa였다. Hot pressing 된 복합재료는 500 $^{\circ}$ C에서 압출비 25:1로 고온 압출을 행하였다. 열처리는 493 $^{\circ}$ C 에서 3시간 용체화처리후 190 $^{\circ}$ C 에서 8시간동안 시효처리하였다. 제조된 시편은 4206 Instron system 에서 초기 변형률 1.66×10^{-3} /sec로 인장시험하였으며, ASTM 표준규격에 의해 밀도가 측정되었으며 광학현미경 및 주사전자현미경에 의해 미세구조를 관찰하였다.

3. 연구결과 및 고찰

SiCw/2124Al 금속복합재료의 기계적 성질에 가장 큰 영향을 주는 인자는 vacuum hot pressing 온도인 것으로 나타났다. 인장 강도는 vacuum hot pressing 온도가 570 $^{\circ}$ C까지 증가함에 따라 함께 증가하였고 그 이후는 거의 일정한 인장 강도를 보였으며, 밀도 및 aspect ratio도 인장 강도와 마찬가지로의 양상을 보이는 것으로 나타났다. Vacuum hot pressing 온도증가에 따른 인장강도, 밀도 및 aspect ratio 증가는 다음과 같이 설명된다. 첫째 vacuum hot pressing 온도가 기지의 고상선 온도인 502 $^{\circ}$ C 이상으로 올라가면, 온도 증가에 따라 기지내의 액상량이 증가하고 이는 복합재료 내부의 휘스커 cluster에 기공이 형성되는 것을 막아 밀도가 증가한다. 둘째로, vacuum hot pressing 온도의 증가는 기지입자가 성형중에 변형이 잘 일어나게 해주 고 이에 의해 강화재에 가해지는 손상도 감소되는 것이다. 이에 따라 휘스커의 aspect ratio도

커지게 된다. 따라서 인장강도의 증가는 강화재의 aspect ratio 와 밀도의 증가에 의한 것으로 볼수있다. 또한 vacuum hot pressing 압력의 영향은 주로 밀도 변화에 의한 것으로 보이며, 이는 일정 압력이상이 되어야 성형시 기지의 액상을 휘스커의 덩어리 내부로 밀어넣어 줄 수 있기 때문인 것으로 보인다. 따라서 높은 vacuum hot pressing 압력은 밀도의 증가와 강화재 aspect ratio 감소로 서로 다른 주가지 효과가 동시에 작용하며, 이 두가지가 적절히 조화된 70MPa의 조건에서 최대의 인장강도를 보이고 있다.

이상의 결과에서 복합재료의 인장강도는 휘스커의 aspect ratio와 밀도에 의해 좌우되는 것을 알 수 있으므로 복합재료의 인장강도를 휘스커의 aspect ratio, S와 복합재료의 밀도 또는 기공률, P의 함수로 다음과 같이 제안하였다.

$$\sigma = \sigma_0 \cdot f(S) \cdot g(P) \quad (1)$$

이때 σ 는 임의의 S와 P일때의 복합재료 인장강도이며, σ_0 는 기준상태에서의 복합재료의 인장강도이다. 휘스커 aspect ratio변화의 영향 부분을 수식화하기 위하여 Nardone등에 의하여 제안된 다음과 같은 modified shear-lag 모델 식을 도입하였다. 일반적으로 금속복합재료내에서 휘스커의 aspect ratio는 제조중의 손상으로 인하여 임계 aspect ratio 보다 작고 또한 modified shear-lag model도 작은 aspect ratio를 가진 강화재일 경우에 해당하는 식이므로 임계 aspect ratio를 기준 상태로 보았다. 그리고 밀도 변화에 의한 영향을 수식화하기 위하여 기존의 분말 성형체의 밀도와 기계적 성질과의 지수적인 관계식을 이용하였다. 이때 이상상태는 이상밀도 (ideal density)를 가지는 상태로 하였다. 그리고 이식을 여러 vacuum hot pressing 조건에서 제조된 금속복합재료의 기계적 성질 및 휘스커 aspect ratio와 밀도에 적용하여 경험적인 관계식을 도출하였다.

한편 복합재료 강도에 미치는 복합재료 내부기공의 효과는 여타 금속이나 세라믹 재료를 분말공정법에 의해 제조할 때에 비해 매우 크게 나타났는데, 이에 대한 이유로는 다음과 같은 것을 들 수 있다. 복합재료내부에는 기지/강화재의 계면을 따라 모양이 길죽하고 끝부분의 곡률반경이 작은 기공이 생기므로 이때 이 끝 부분에서 많은 응력집중을 일으키게 되며 또한 기공이 주로 계면에 생성되므로 계면의 접착 면적을 줄이게 되고 또한 계면의 접착력을 감소시켜 복합재료의 강도를 감소시킨다. 따라서 기공 주변의 많은 응력집중과 계면 면적 및 접합력의 약화로 복합재료의 강도 감소가 크게 나타나며 이로부터 복합재료가 다른 분말 성형재료에 비해 기공양에 대한 인장강도의 의존성이 크게 나타난다고 판단된다.

References

- [1] S. Abkowitz and P. Weihrauch, Adv. Mater. Proc., no.7, (1989)31
- [2] D. L. Erich, Int. J. Powder Metall., 23(1987)45
- [3] F. Kloucek, Int. J. Powder Metall., 23(1987)701
- [4] R. B. Bhagat, Met. Trans., 16A(1985)623
- [5] V. C. Nardone and K. M. Prewo, Scripta Metall., 20(1986)43
- [6] W. Duckworth, J. Amer. Cer. Soc., 36(1953)68
- [7] A. Squire, Trans. AIME, 171(1942)485
- [8] A. Salak, V. Miskovic, E. Dudrovaad and E. Rundayova, Powder Metall. Int., 6(1974)128
- [9] H. E. Exner and D. Pohl, Powder Metall. Int., 10(1978)193