

Vacuum Hot Pressing 조건이 SiC_w/2124Al 금속복합재료의 기계적 성질 및 미세구조에 미치는 영향

홍순형 · 정경현

한국과학기술원 재료공학과

Effects of Vacuum Hot Pressing Conditions on Mechanical Properties and Microstructures of SiC_w/2124Al Metal Matrix Composites

S.-H. Hong and K.-H. Chung

Department of Materials Science and Engineering, KAIST,

Taejon 305-701, Korea

(Received August 4, 1994)

ABSTRACT The variation of the microstructures and the mechanical properties with varying vacuum hot pressing temperature and pressure was investigated in P/M processed 20 vol% SiC_w/2124Al composites. As increasing the vacuum hot pressing temperature, the aspect ratio of whiskers and density of composites increased due to the softening of 2124Al matrix with the increased amount of liquid phase. The tensile strength of composite increased with increasing vacuum hot pressing temperature up to 570°C and became saturated above 570°C. To attain the high densification of composites above 99%, the vacuum hot pressing pressure was needed to be above 70 MPa. However, the higher vacuum hot pressing pressure above 70 MPa was not effective to increase the tensile strength due to the reduced aspect ratio of SiC whiskers from damage of whiskers during vacuum hot pressing. A phenomenological equation to predict the tensile strength of SiC_w/2124Al composite was proposed as a function including two microstructural parameters, *i.e.* density of composites and aspect ratio of whiskers. The tensile strength of SiC_w/2124Al were found more sensitive to the porosity than other P/M materials due to the higher stress concentration and reduced load transfer efficiency by the pores locating at whisker/matrix interfaces.

1. 서 론

세라믹계 강화제로 강화된 금속복합재료(Metal Matrix Composites)는 비강도와 비강성이 뛰어난 소재로써 최근에는 이러한 장점을 이용한 구조재료로서의 응용에 관심이 모아지고 있다.¹⁻³⁾ 특히 Al합금을 기지로 하는 금속복합재료는 경량합금인 Al기지의 특성에 의해 초경량 고강도 특성을 실현한 구조재료로서 항공기 및 자동차산업에서 현재 일부 사용되고 있으며 앞으로도 그 활용범위를 넓혀 갈 것으로 예상된다.⁴⁻⁹⁾ 그러나 금속복합재료의 기계적 성질은 복잡한 제조공정 각 단계의 제조공정인자에 민감하게 영향을 받아 그 변동의 폭이 크며, 이것이 응용범위의 확대를 제한하는 주요요인으로 알려져

있다.¹⁰⁾ 따라서 제조공정 인자들이 복합재료의 기계적 성질에 어떤 영향을 주는지를 이해함으로써 공정을 적절히 제어할 수 있으며 균일한 기계적 성질을 얻는 것이 가능하여 금속복합재료의 제조공정 인자와 기계적 성질간의 연관성에 관한 이해가 실제 응용에 매우 중요하다.

일반적으로 금속복합재료를 제조하는데 있어서 분말야금공정법을 이용할 경우가 주조공정을 통한 경우에 비해 미세구조의 균일성이 향상되어 기계적 성질이 좋은 것으로 알려져 있다.¹¹⁻¹⁴⁾ 분말야금공정법은 여러가지의 제조단계로 구성되어 있어서 최적의 기계적 성질을 나타내는 금속복합재료의 제조를 위해서는 각 단계의 제조조건을 적절히 제어할 수 있어야 한다. 이전의 연구에 의하면,¹⁵⁻¹⁸⁾ 혼합, va-

vacuum hot pressing 등의 각 제조공정이 금속복합 재료의 기계적 성질에 미치는 영향을 조사하였으나 이들 결과는 기계적 성질의 변화를 기술하는데 그치고 있어 제시된 최적 제조조건은 다른 금속복합 재료의 제조조건을 결정하는데 있어서 크게 도움이 되지 못하였다. 따라서 더 체계적이고 예측가능한 결과를 얻기 위해서는 금속복합재료의 기계적 성질 뿐만 아니라 강화재의 형상 및 배열, 복합재료의 밀도 등 제조 공정이 밀접한 영향을 미치는 미세구조의 변화를 조사함으로써 제조 공정인자-미세구조-기계적 성질 사이의 상관관계를 분석하는 것이 필요하다. 이러한 상관관계를 확립함으로써, 금속복합재료의 기지와 강화재의 종류가 달라진다 해도 제조 공정 인자의 변화로 인한 미세구조의 변화거동을 예측할 수 있고 이로부터 기계적 성질의 변화도 예측 가능할 것으로 판단된다.¹⁹⁾

본 연구에서는 vacuum hot pressing 온도와 압력이 20 vol% SiC_w/2124Al 금속복합재료의 인장특성 및 미세구조에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 미세구조인자인 휘스커의 aspect ratio와 복합재료의 밀도가 기계적 성질에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였고, 이들 사이의 연관성으로부터 금속복합재료의 인장강도를 미세구조적 특성으로부터 예측할 수 있는 관계식을 도출하는데 그 목표를 두었다.

2. 실험방법

기지재료로는 가스분무법으로 제조된 2124Al 합금분말을 사용하였으며 초기 입자 직경은 평균 20 μm였다. 강화재로는 Tokai Carbon Co.에서 구입한 β-SiC 휘스커가 사용되었으며 초기 직경이 1.5 μm 이고, 길이는 40~50 μm이었다. 부피분율 20%의 SiC 휘스커를 2124Al 기지분말과 함께 pH 9인 에틸 알콜내에서 교반기를 이용하여 혼합한 뒤 70°C의 oven에서 12시간 동안 건조시켰다. 혼합된 분말들은 내경 50 mm인 몰드내에 충전시킨 뒤 vacuum hot pressing의 진공 챔버내에서 가열하였고, 가열시 챔버내의 진공도는 3×10^{-5} torr로 유지되었다. 혼합된 분말의 성형조건은 vacuum hot pressing 온도를 485~600°C, vacuum hot pressing 압력을 50~90 MPa 범위로 변화시키면서 SiC_w/2124Al 복합재료 성형체(ingot)를 제조하였다. 성형된 복합재료 성형

체는 25:1의 압출비로 500°C에서 열간압출하였다. 압출 후에는 493°C에서 3시간의 용체화 처리와 190°C에서 8시간의 시효처리를 하는 T6열처리를 하여 주었다. SiC_w/2124Al 금속 복합 재료의 인장실험은 Instron 시험기를 사용하여 초기 변형률 속도 1.66×10^{-3} /sec로 행하였고 이때 사용된 인장시편은 게이지 부분의 직경이 2.54 mm이며 길이가 5.08 mm의 봉상시편을 사용하였다. 금속 복합 재료의 밀도는 Archimedes 법에 의한 표준측정법²⁰⁾을 따랐으며, 휘스커의 aspect ratio 및 배열 상태의 변화를 조사하기 위해 주사전자현미경(SEM)으로 미세구조를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. Vacuum Hot Pressing 온도의 영향

Vacuum hot pressing 온도의 변화에 따른 인장강도의 변화를 다른 인자의 변동에 따른 영향을 배제한 조건에서 측정하기 위해 Taguchi방법을 이용하여²¹⁾ 각 vacuum hot pressing 온도의 조건에서 50, 70, 90 MPa의 vacuum hot pressing 압력으로 금속복합재료를 제조하여 이 세 가지 조건에서 제조된 금속복합재료의 인장강도의 평균을 각 vacuum hot pressing 온도조건에서의 인장강도의 data 값으로 취하였다. Vacuum hot pressing 온도를 485°C에서 600°C로 변화시키에 따라 SiC_w/2124Al 금속복합재료의 인장강도가 변화하는 경향이 Fig. 1에 나타나 있다. 인장강도는 vacuum hot pressing 온도가 증가하여 570°C에 이를 때까지 빠르게 증가하였고, vacuum hot pressing 온도가 570°C 이상에서는 인장강도의 증가가 거의 없이 일정한 값을 보였다. Vacuum hot pressing 온도 변화에 따른 금속복합재료의 상대밀도와 SiC 휘스커의 aspect ratio의 변화는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 570°C까지는 급격히 증가하나 570°C 이상에서는 큰 변화가 없어 Fig. 1의 vacuum hot pressing 온도변화에 따른 인장강도의 변화와 유사한 경향을 보여주고 있다.

Vacuum hot pressing 온도변화에 따른 미세조직의 변화를 분석하기 위해 485°C와 560°C에서 각각 성형된 SiC_w/2124Al 금속복합재료의 미세구조를 Fig. 3에 비교하였다. Fig. 3(a)의 485°C에서 성형된 금속복합재료에서는 많은 기공(void)이 주로 SiC

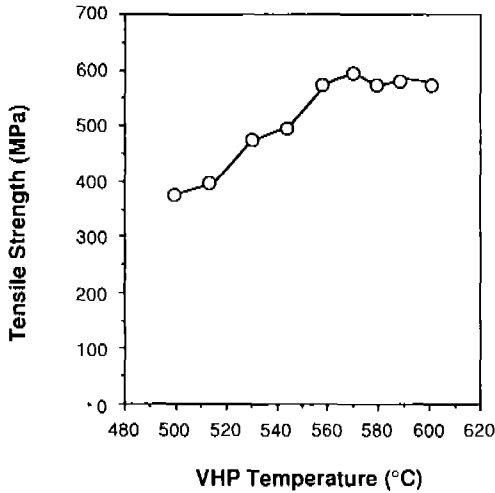


Fig. 1. The variation of tensile strength of SiC_w/2124 Al composites with varying vacuum hot pressing temperature.

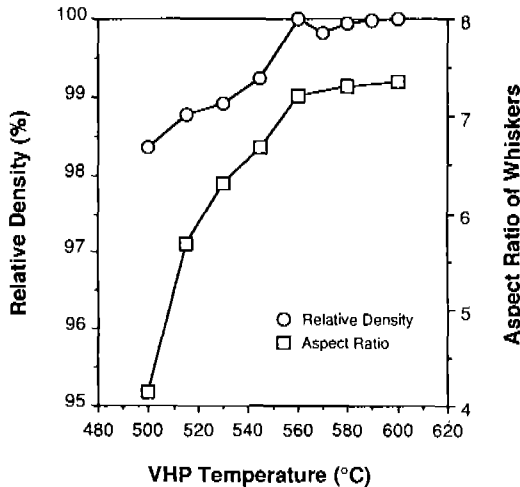
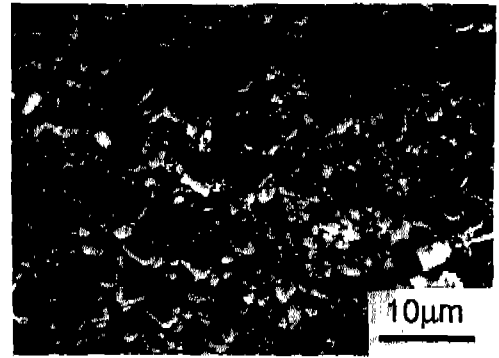
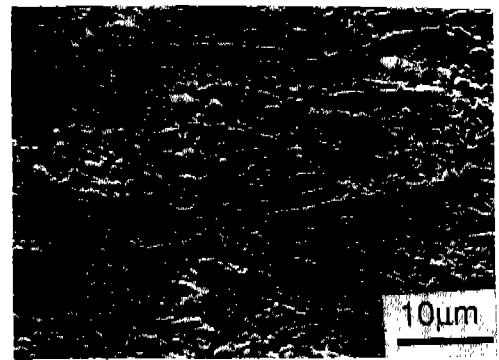


Fig. 2. The variation of relative density and aspect ratio of whiskers in SiC_w/2124Al composites with varying vacuum hot pressing temperature.

휘스커가 응집된 덩어리(cluster)에서 관찰되고 있고, 그 크기는 1~10 μm이며 비교적 큰 기공은 압출 방향에 평행하게 늘어서 있다. 반면에 Fig. 3(b)의 560 °C에서 성형된 경우에는 기공의 양이 크게 줄어들었으며 그 크기도 1 μm 이하로 크게 줄어들었다. 485 °C와 560 °C의 두 온도에서 성형된 금속복합재료의 SiC 휘스커들은 압출공정을 거치면서 압출방향으로 정렬되었으나 휘스커의 aspect ratio는 두 온도에서



(a)



(b)

Extrusion Axis
←—————→

Fig. 3. Microstructure of SiC_w/2124Al composites fabricated at different vacuum hot pressing temperature. (a) Vacuum hot pressed at 485°C, (b) vacuum hot pressed at 560°C.

차이를 나타내고 있다. 485°C에서 성형된 SiC_w/2124 Al 금속복합재료의 경우 휘스커의 평균 aspect ratio가 약 4.2로 매우 작은 반면, 560°C에서 성형된 경우는 약 7.1로써 약 70% 정도의 차이를 나타내고 있다.

앞서 관찰된 바와 같이 금속복합재료의 인장강도 및 상대밀도 그리고 휘스커의 aspect ratio는 vacuum hot pressing 온도의 증가에 따라 함께 증가하였는데 그 이유는 다음의 두 가지로 설명할 수 있다. 첫째로, vacuum hot pressing 온도가 기지의 고상선 온도인 502°C²²⁾를 넘게 되면 성형시 기지내에 액상이 형성되고 그 양은 온도증가에 따라 많아진다. 성형을 위해 압력이 가해지면 기지내의 액상들이 휘스커들 사이

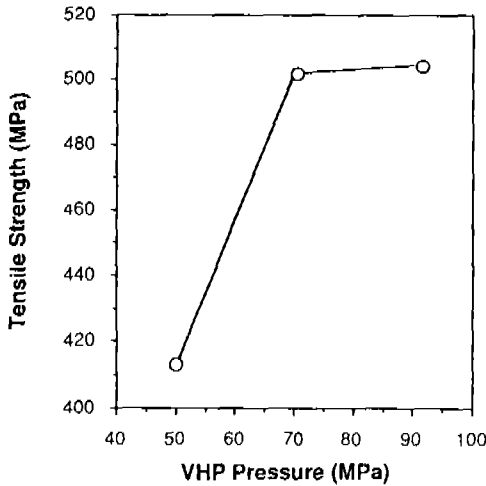


Fig. 4. The variation of tensile strength of SiC_w/2124 Al composites with varying vacuum hot pressing pressure.

로 쉽게 스며들게 되고 휘스커의 덩어리 내부에도 기지가 잘 채워지게 된다. 따라서 vacuum hot pressing 온도가 증가할수록 금속복합재료의 내부결함이 감소되고 밀도증가가 나타나게 되는 것이다. 둘째로, vacuum hot pressing 온도의 증가에 따라 2124Al 기지의 유동응력(flow stress)이 낮아져 변형이 쉽게되고 따라서 압력을 가하여 성형하는 도중에 휘스커의 손상이 줄어들게 된다. 휘스커의 손상감소로 인하여 vacuum hot pressing 온도의 증가에 따라 복합재료내의 SiC 휘스커의 aspect ratio가 증가하게 된다. 그러므로 vacuum hot pressing 온도의 증가에 따라 SiC/2124Al 금속복합재료의 인장강도의 증가가 나타나는 것은 상대밀도 증가에 따른 복합재료의 치밀화 및 내부결함 감소와 함께 휘스커의 aspect ratio 증가에 따른 휘스커의 응력분담 효과의 상승에 의한 것으로 설명된다.

3.2. Vacuum Hot Pressing 압력의 영향

앞 절의 vacuum hot pressing 온도의 영향조사에서와 마찬가지로 vacuum hot pressing 압력변화만의 영향을 분리하기 위하여 각 vacuum hot pressing 압력 조건에서 vacuum hot pressing 온도를 500°C에서 600°C까지 변화시키면서 제조된 금속복합재료의 인장강도의 평균을 그 vacuum hot pressing 압력조건을 대표하는 인장강도의 값으로 하였

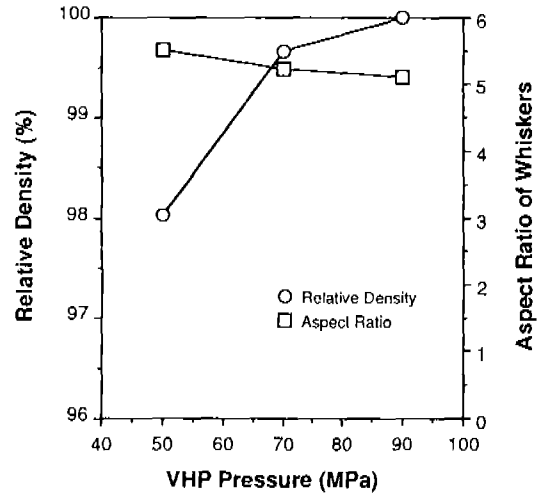


Fig. 5. The variation of relative density and aspect ratio of whiskers in SiC_w/2124Al composites with varying vacuum hot pressing pressure.

다. Vacuum hot pressing 압력의 변화에 따른 SiC_w/2124Al 금속복합재료의 인장강도, 상대밀도 및 휘스커의 aspect ratio 변화가 Fig. 4와 Fig. 5에 나타나 있다. Fig. 4에서 금속복합재료의 인장강도는 vacuum hot pressing 압력이 70 MPa와 90 MPa인 경우에는 약 500 MPa인 반면에 vacuum hot pressing 압력이 50 MPa에서는 420 MPa 정도로 낮은 값을 보이고 있다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 복합재료의 상대밀도도 vacuum hot pressing 압력이 50 MPa인 경우 98% 정도의 낮은 값을 보인 반면 압력이 70 MPa와 90 MPa일 때는 99% 이상의 높은 밀도를 보이고 있다. 그러나 SiC 휘스커의 aspect ratio는 vacuum hot pressing 압력변화가 있어도 10% 이내의 작은 변화만 관찰되었다. 이러한 결과로부터 vacuum hot pressing 압력이 인장강도의 변화에 주는 효과는 주로 복합재료의 밀도변화에 의한 것으로 볼 수 있다. 즉 압력의 증가에 따라 기지의 액상이 휘스커 사이로 쉽게 스며들게 되며, 이로 인한 복합재료의 상대밀도 증가로 인하여 인장강도가 증가하였다고 판단된다. 반면에 vacuum hot pressing 압력의 증가에 따라 휘스커가 입는 손상은 증가하고 그로 인해 aspect ratio가 감소하게 된다. Vacuum hot pressing 압력이 증가됨에 따라 상대밀도가 증가되어 인장강도가 향상되는 반면에 휘스커의 aspect ratio 감소는 인장강도를 감소시키는 요인으로 작용

하게 된다. 따라서 Fig. 4에서 나타난 바와 같이 vacuum hot pressing 압력이 50 MPa에서 70 MPa로 증가하면 상대밀도의 증가가 급격히 일어나고 이로 인해 인장강도가 증가되지만, vacuum hot pressing 압력이 70 MPa에서 90 MPa로 증가할 때에는 상대 밀도가 다소 증가하였지만 휘스커의 손상증가로 인하여 aspect ratio가 감소해 이 두 효과가 서로 상쇄되어 인장강도가 거의 변화하지 않았다고 판단된다.

3.3. 기계적 성질-미세구조 상관관계 분석

이상의 관찰결과로부터 금속복합재료의 상대밀도와 휘스커의 aspect ratio가 금속복합재료의 인장강도에 크게 영향을 미치는 미세구조 인자로 확인되었다. 본 연구에서는 금속복합재료의 인장강도를 위의 두 가지 미세구조 인자의 함수로 수식화하여 미세구조 인자와 기계적 성질의 상관관계를 정량화하고자 하였다. 금속복합재료의 상대밀도와 휘스커의 aspect ratio가 복합재료의 강도에 서로 독립적으로 작용한다면 인장강도는 다음 식에 의해 표현된다고 가정할 수 있다.

$$\sigma = \sigma_0 \cdot f(S) \cdot g(P) \tag{1}$$

이때 σ 는 임의의 휘스커 aspect ratio인 S 와 P 만큼의 기공률을 가지는 금속복합재료의 인장강도이고, σ_0 는 기준상태의 휘스커의 aspect ratio와 상대밀도를 가지는 금속복합재료의 인장강도이며, $f(S)$ 와 $g(P)$ 는 인장강도의 감소비를 함수로서 각각 휘스커의 aspect ratio S 와 금속복합재료의 기공율(porosity) P 의 함수이다.

먼저 휘스커의 aspect ratio 변화가 금속복합재료의 인장강도에 미치는 효과를 분석하기 위해 Nardone 등²³⁾에 의해 제안된 다음과 같은 수정된 shear-lag 모델을 도입하였다.

$$\sigma_c = V_f \cdot (\tau_i \cdot S + \sigma_i) + V_m \cdot \sigma_i \tag{2}$$

이때 σ_c 는 가해지는 외부응력, σ_i 는 복합재료 내부의 평균응력, τ_i 는 기지에서 휘스커에 전달되는 전단응력, S 는 휘스커의 aspect ratio이며, V_f 와 V_m 은 각각 기지와 강화재의 부피분율이다. 금속복합재료내의 휘스커의 aspect ratio는 일반적으로 제조상의 손상으로 인해 임계(critical) aspect ratio²⁴⁾에 비해 작고,

modified shear-log 모델은 작은 aspect ratio를 가지는 휘스커와 입자강화 복합재료를 위해 제안된 식이므로, 휘스커 aspect ratio의 기준 상태는 기지로부터의 응력 전달로 인해 휘스커의 파단이 일어나는 aspect ratio로 정의되는 임계 aspect ratio로 설정할 수 있다. 임계 aspect ratio S_c 는 다음과 같은 식으로 표현된다.²⁴⁾

$$S_c = \frac{\sigma_{fu}}{2\tau_{my}} \tag{3}$$

이때 σ_{fu} 는 휘스커의 인장강도 그리고 τ_{my} 는 기지의 항복 강도이다. 본 실험에서 사용된 SiC 휘스커와 2124Al 기지에 대한 σ_{fu} 와 σ_{my} 값인 7 GPa와 275 MPa를 각각 대입하면 임계 aspect ratio S_c 는 12로 계산된다. Piggot²⁴⁾에 의해 제안된 것과 같이 $\tau_i = \sigma_i/2$ 로 가정하고 SiC 강화재의 부피분율이 20%인 경우에 휘스커 aspect ratio가 S 인 금속복합재료와 임계 aspect ratio(S_c)인 휘스커를 포함하는 복합재료의 인장강도의 비는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\frac{\sigma_F}{\sigma_c} = \frac{S \times 0.1 + 1}{S_c \times 0.1 + 1} \tag{4}$$

이때 σ_F 와 σ_c 는 각각 휘스커의 aspect ratio가 S 와 S_c 이면서 이론밀도를 가지는 SiC_w/Al 금속복합재료의 인장강도이다. 식 (4)에 의해 휘스커의 aspect ratio 변화를 감안하여 계산된 SiC_w/2124Al 금속복합재료의 인장강도를 vacuum hot pressing 온도의 변화에 따라 도시한 결과가 Fig. 6에 나타나 있다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 휘스커의 aspect ratio 변화에 따른 효과를 감안하여 계산된 금속복합재료의 인장강도와 측정된 인장강도 사이에는 아직도 상당한 차이가 존재하고 있다. 그 차이를 각 조건에서 제조된 SiC_w/2124Al 금속복합재료의 밀도에 따라 도시하면 Fig. 7과 같이 밀도의 증가에 따라 그 차이가 감소하며 복합재료의 밀도가 이론밀도에 도달하면 두 인장강도가 일치하는 것을 보여주고 있다. 따라서 aspect ratio 차이를 보정하여 계산된 인장강도와 측정된 인장강도의 차이가 나타나는 것은 vacuum hot pressing 조건에 따라 휘스커의 aspect ratio가 변화함과 동시에 금속복합재료의 상대밀도가 변화하기 때문인 것으로 볼 수 있다.

분말성형체의 인장강도와 상대밀도의 상관관계에

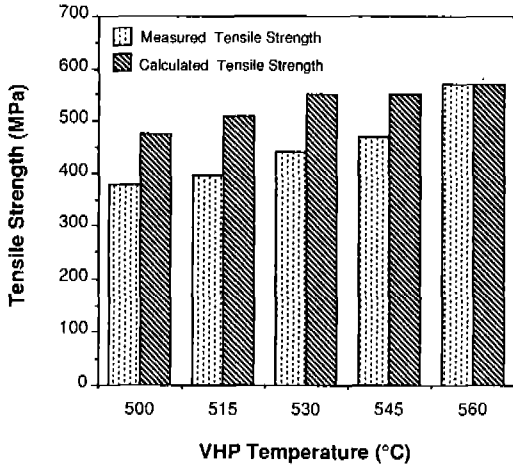


Fig. 6. The variation of calculated tensile strength, σ_F , compensated by aspect ratio of whiskers, and measured tensile strength, σ , of SiC_w/2124Al composites with varying vacuum hot pressing temperature.

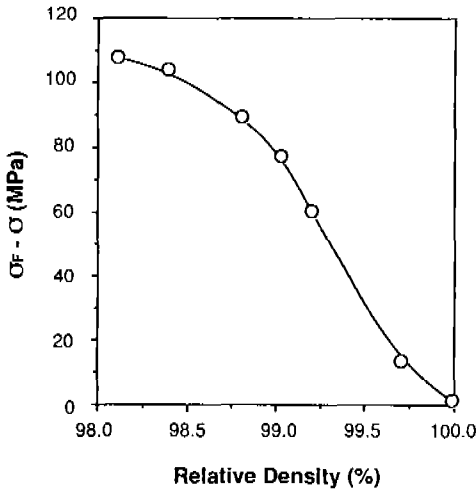


Fig. 7. The variation of difference between calculated tensile strength, σ_F , compensated by aspect ratio of whiskers, and measured tensile strength, σ , with varying relative density of SiC_w/2124Al composites.

관한 여러가지 수식이 제안되어 왔는데,²⁴⁻²⁸⁾ 일반적으로 받아들여지는 Sequire²⁹⁾에 의해 제안된 지수 함수 관계식을 이용하면 분말 성형체의 인장강도는 다음과 같은 식으로 표현되어진다.

$$\frac{\sigma}{\sigma_F} = \exp(-k \cdot P) \quad (5)$$

이때 σ 는 P만큼의 기공률(porosity)를 가지는 분말

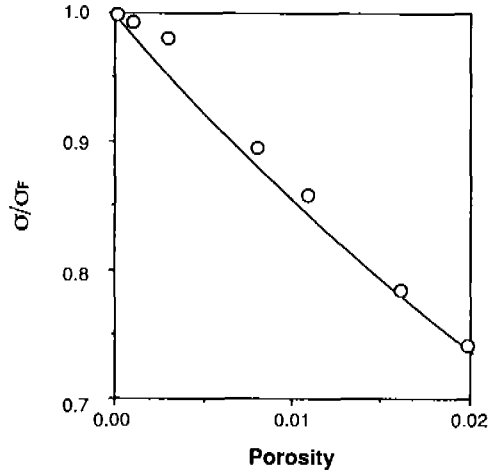


Fig. 8. The variation of the ratio of measured tensile strength to calculated tensile strength with varying porosity in SiC_w/2124Al composite. The curve is fitted according to the proposed Eq. (5).

성형체의 인장강도이고, σ_F 는 이론밀도를 가지는 분말성형체의 인장강도이다. 그리고 k 는 상수이며 P 는 vacuum hot pressing된 금속복합재료의 기공률이다. 식 (5)를 적용하기 위하여, 본 연구에서 제조된 금속복합재료의 측정된 인장강도 σ 와 식 (4)에 의하여 휘스커의 aspect ratio 변화에 따른 인장강도의 변화를 감안하여 계산된 σ_F 사이의 비를 기공률에 대한 함수로 도식하면 Fig. 8과 같다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 σ/σ_F 데이터 값을 식 (5)에 의해 표시하면 상수 k 가 15.5일 때 지수함수 곡선이 데이터와 잘 일치되는 것으로 나타났다. SiC_w/2124Al 금속복합재료에서의 상수 k 값인 15.5를 다른 종류의 분말성형체와 비교해 보면, 분말성형된 철의^{31,32)} 7.7~9 및 알루미늄³³⁾ 또는 지르코니아³⁴⁾의 7에 비하여 매우 큰 값을 알 수 있다.

상수 k 값은 공공의 크기와 모양에 관계된 것으로 알려져 있으며³⁵⁾ SiC_w/2124Al 금속복합재료에서 큰 값이 나타난 것은 금속복합재료의 인장강도가 다른 재료에서의 인장강도에 비해 기공률의 변화, 즉, 밀도변화에 매우 민감하다는 것을 나타내고 있다. 금속복합재료의 인장강도가 다른 재료에 비해 밀도에 민감한 이유는 다음의 두 가지 측면에서 설명된다. 우선 복합재료내의 기공의 모양이 대부분 불규칙하여 날카로운 모서리를 가지고 있는 모양을 나타내고 있는데(Fig. 3) 이로 인해 그 모서리 부분에서 응력

집중이 일어나기 때문인 것으로 보여진다. 또한 기공이 존재하는 위치가 대부분 휘스커와 기지의 계면인데, 이로 인해 응력전달이 일어날 수 있는 기지와 강화재간의 계면의 넓이가 급격히 감소하게 되고, 따라서 휘스커의 응력분담효율이 감소하게 된다. 그러므로 금속복합재료에서는 기공률의 양에 인장강도가 민감하고 따라서 다른 분말야금 재료에 비하여 k 값이 크게 나타난다고 생각된다.

이상의 분석결과로부터 두 가지 주요 미세구조 인자인 휘스커의 aspect ratio와 복합재료의 상대밀도의 영향을 감안하여 SiC_w/2124Al 금속복합재료의 인장강도를 표시하는 경험식이 다음과 같이 제안되었다.

$$\sigma = \sigma_c \left(\frac{S \cdot V_f + 2}{S_c \cdot V_f + 2} \right) \cdot \exp(-15.5 P) \quad (6)$$

이때 σ 는 임의의 aspect ratio(S)인 휘스커를 포함하며 임의의 기공률(P)을 가지는 SiC_w/2124Al 금속복합재료의 인장강도이고, σ_c 는 임계 aspect ratio(S_c)의 휘스커를 포함하며 이론밀도를 가지는 SiC_w/2124Al 금속복합재료의 인장강도이며, V_f 는 휘스커의 부피분율이다.

4. 결 론

20 vol% SiC_w/2124Al 금속복합재료를 분말야금 공정법으로 제조할 때 vacuum hot pressing 온도와 압력이 미세구조 및 기계적 성질에 미치는 영향을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. Vacuum hot pressing 온도가 증가함에 따라 금속복합재료의 인장강도가 증가하며 이는 2124Al 기지의 연화효과와 함께 액상 양의 증가에 따른 SiC 휘스커 aspect ratio와 복합재료의 밀도증가에 의한 것으로 설명된다. Vacuum hot pressing 압력은 최소 70 MPa 이상이어야 99% 이상의 상대밀도와 500 MPa 이상의 인장강도를 나타내었으나, 70 MPa 이상의 더 높은 압력인가는 휘스커의 손상으로 인하여 인장강도 향상에 큰 효과를 주지 못했다. 기계적 성질과 미세구조 인자간의 상관관계를 정량적으로 분석하여 SiC_w/2124Al 금속복합재료의 인장강도를 두 가지 주요 미세구조인자인 휘스커 aspect ratio와 복합재료의 상대밀도의 함수로 표현되는 관계식이 제시되

었다. 금속복합재료에서는 다른 소결재료에 비해 인장강도가 내부 기공률에 더 민감하게 영향을 받는 것으로 나타났으며, 이는 금속복합재료내의 기공의 모양이 불규칙하여 큰 응력집중이 발생하고 기공이 주로 기지/휘스커의 계면에 존재하여 SiC 휘스커의 응력분담효율을 저하시키기 때문인 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. B. F. Quigley, G. J. Abbaschian, R. Wunderlin and R. Mehrabian : *Met. Trans.*, **13A** (1982) 93
2. 박정민, 홍영환, 이현규, 홍종휘 : *대한금속학회지*, **31** (1993) 949
3. 전정식, 이준환, 유연철 : *대한금속학회지*, **32** (1994) 321
4. S. Abkowitz and P. Weihrauch : *Adv. Mater. Proc.*, No. 7 (1989) 31
5. K. U. Kainer, H. W. Bergman and B. L. Mordike : *Powder Metall.*, **27** (1984) 30
6. 이창길, 이성학, 권동일 : *대한금속학회지*, **31** (1993) 546
7. J. C. Bittence : *Adv. Mater. Proc.*, No. 7 (1987) 45
8. 김태형, 권동일, 이성학 : *대한금속학회지*, **31** (1993) 739
9. 노병일, 이두영, 이성학, 김낙준 : 제 4회 재료강도 심포지움 논문집 (1990) 111
10. A. Jokinen : *Proc. TMS Annual Meeting '90*, Anaheim, NJ (1990) 327
11. 이경구, 문길원, 이도재 : *대한금속학회지*, **30** (1992) 1241
12. D. L. Erich : *Int. J. Powder Metall.*, **23** (1987) 45
13. F. Kloucek : *Int. J. Powder Metall.*, **23** (1987) 701
14. 김경택, 고명완, 이지환 : *대한금속학회지*, **31** (1993) 1487
15. R. B. Bhagat : *Met. Trans.*, **16A** (1985) 623
16. J. H. ter Haar and J. Duszczysk : *Mater. Sci. Eng.*, **A135** (1991) 65
17. R. J. Arsenault and S. B. Wu : *Scripta Metall.*, **22** (1988) 767
18. 이성학, 최용규, 권동일, 김영환 : 제 7회 재료강도 심포지움 논문집 (1993) 325
19. S. H. Hong and K. H. Chung : *Mater. Sci. and Eng.*, in press (1994)
20. ASTM B328, *Standard Test Method for Density and Interconnected Porosity of Sintered Metal Powder Structural Parts*, ASTM, Philadelphia, 1983

21. R. Ross : Taguchi Technique for Quality Engineering, McGraw-Hill, New York (1988)
22. *Metals Handbook*, Vol. 2, 9th ed., ASM, 1979
23. V. C. Nardone and K. M. Prewo : *Scripta Metall.*, **20** (1986) 43
24. M. R. Piggot : *Load-Bearing Fiber Composites*, Pergamon Press, p. 63-68, 1980
25. W. Duckworth : *J. Am. Cer. Soc.*, **36** (1953) 68
26. V. Gallina and G. Mannone : *Powder Metall.*, (1968) 73
27. A. J. Krasovskiy : *Poroshkovaya Matallurgiya*, (1964) 1
28. R. Maynes : *Powder Metall.*, (1971) 71
29. A. Sequire : *Trans. AIME*, **171** (1942) 485
30. F.V. Lenel : *Powder Metallurgy Principles and Application*, Metal Powder Industries Federation, Princeton, NJ (1980) p. 233
31. A. Salak, V. Miskovic, E. Dudrovaad and E. Rundayova : *Powder Metall. Int.*, **6** (1974) 128
32. F. J. Esper, H. E. Exner and H. Metzler : *Powder Metall.*, **18** (1975) 107
33. E. Ryshkewitch : *J. Am. Cer. Soc.*, **36** (1953) 65
34. W. Duckworth : *J. Am. Cer. Soc.*, **36** (1953) 68
35. H. E. Exner and D. Pohl : *Powder Metall. Int.*, **10** (1978) 193