

Plain woven carbon/6061Al 금속복합재료의 제조와 특성분석

장재준*, 하동호, 엄문광, 이상관
한국기계연구원 공정 연구부 복합재료그룹

Thin Plate Fabrication and Characterization of Plain Woven Carbon / 6061 Al Composites

Jae-Jun Chang, Dong-Ho Ha, Sang-Kwan Lee
Composite Materials Lab.

Korea Institute of Machinery and Materials, Changwon, 641-010

*Department of Materials Science and Engineering

ABSTRACT

Emphasis has been placed on thin plate fabrication of plain woven carbon fabric reinforced Al matrix composites using liquid pressing process. The composite has potential applications for PDP rear plate. The process is to use the low pressure for infiltration of Al melt into plain woven carbon fabric as the Al melt is pressurized directly. The minimum pressure required for the infiltration was calculated from force balance equation, permeability measurements and compaction behavior of carbon fiber. Also, the melting temperature and the holding time have been optimized. In order to measure coefficient of thermal expansion (CTE) of the composites, the thermal strain measurement using strain gage was performed and the thermal conductivity of the composites was measured using laser flash method. The constituent materials of the composite are PAN type carbon fibers as reinforcements and 6061 Al alloys as matrices.

Key Words: Liquid pressing process, Plain woven carbon fabric, Al matrix composites, Reinforcements, Plasma display panel.

1. 서 론

직조형 복합재료(textile composites)는 섬유 프리폼(preform)을 이용하는 첨단 복합재료로서 하중을 받는 구조물에 많이 사용되고 있다. 최근에는 자유로운 섬유 배열에 의한 다양한 특성으로 인하여

실제 구조물의 다양한 요구 조건을 잘 수용할 수 있는 재료로서 많은 관심을 끌고 있다. 직조형 복합재료는 직조기술을 이용하여 원하는 형상의 프리폼을 만든 후 액상 공정을 적용하여 제조한다. 금속복합재료의 경우에 가장 널리 사용되는 방법이 용탕단조법(squeeze casting)으로, 고액 공존상의 기지 재료를 프리폼 내부로 강제적으로 함침시키는 방법이다 [1]. 따라서, 대부분 50 MPa 이상의 높은 압력이 필요하며, 박판의 경우 응고가 빨리 진행되는 등의 성

* 한국기계연구원 복합재료그룹

형상의 난점이 있다. 또한 PDP배면판과 같이 대면적의 경량박판은 고액공존 상태에서 가압하는 기존 공정으로는 제조가 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 액상상태에서 가압하는 액상가압공정의 개념을 도입하여 경량 박판의 제조를 시도하였다. 이를 구현하기 위하여, 먼저 함침에 필요한 최소 가압력을 계산하였고, 액상가압이 가능한 금형을 설계/제조하여 시제품을 제조하였다. PDP배면판 재료의 활용 가능성을 확인하기 위하여 필요한 기초 물성인 열전도도와 열팽창 계수를 측정하였다. 구성재료로는 PAN type 탄소 섬유로 직조된 평직(plain woven carbon fabric)을 보강재로 사용하였고, 6061 Al 합금을 기지 금속으로 사용하였다.

2. 액상 가압 성형 공정의 melt 함침 해석

Melt 유동이 형성되는 기본 단위 구조에 대한 함침 메커니즘을 규명하고, 이를 통하여 함침에 필요한 최소 가압력을 계산하였다.

2.1 표면 장력 효과

섬유 가닥들과의 계면에서 생기는 표면 장력에 의해 섬유 다발 전체에서 섬유 축과 수직인 방향으로 유동(transverse flow)이 형성될 때, Fig.1와 같은 유동 형태가 다발 내에서 반복된다고 할 수 있으므로, 섬유 두 가닥에 작용하는 표면 장력에 의한 유동 형태로 한정하고, 섬유 배열에서 단위 셀간 거리를 고려하여 표면장력의 압력 상당치를 구해보면 식(1)과 같다.

$$\Delta P = 2\gamma \cos\theta / L_{cell} \quad (1)$$

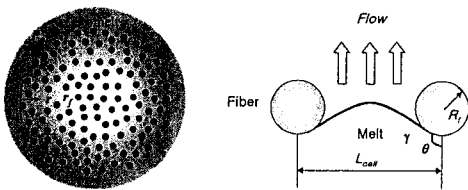


Fig. 1 Basic transverse flow by surface tension

Carbon과 Al 사이의 표면 장력의 영향을 고찰하기 위하여 접촉각과 표면 장력 등의 열역학적 데이터[2]를 참고하여 설정한 Table 1과 위의 식(1)을 이용하여 섬유축 수직방향 유동에서의 표면 장력 효과를 계산한 결과, Fig.2와 같이 압력 상당치가 음수 값을 보이는데 이는 표면 장력이 유동을 방해하

는 쪽으로 작용함을 의미한다.

Table 1 Thermodynamic data of carbon/Al

| System | Contact Angle | Surface Tension | Processing Temperature |
|-----------|---------------|-----------------|------------------------|
| Carbon/Al | 140-160° | 3.18-3.4 N/m | 800°C |

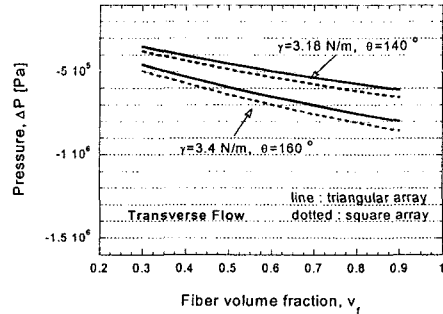


Fig.2 Surface tension effect in transverse flow

2.2 섬유 반경 방향 함침 해석

Fig.1과 같이 유체 유동이 반경 방향으로 형성될 경우, 섬유 다발을 원형으로 가정하면, 유체 함침도(D_{imp})와 시간(t), 압력(P_0), 점도(μ), 초기 섬유다발 반경(r_0)과 투과성 계수(K) 간의 관계는 Carman-Kozeney 모델에 의한 결과식[3]을 이용하여 식(2)와 같이된다.

$$t_{f, D_{imp}=1} = \frac{\epsilon \mu r_0^2}{4K(P_0 + \Delta P_S)} = \frac{nk_{zz}\mu}{(P_0 + \Delta P_S)(1 - v_f)^2} v_f \quad (2)$$

여기서, n 은 다발 내의 섬유 가닥 개수, ΔP_S 는 표면 장력 효과, v_f 는 섬유 체적율, k_{zz} 는 섬유 축 직각 방향의 Kozeny 상수이다.

Table 1을 참고하여 표면장력 효과가 최대인 경우, 표면 장력에 의한 압력(ΔP_S)보다 큰 압력을 가했을 때, 계산한 함침 시간을 Fig.3에 나타내었다. Fig. 3에서 보면 외압이 표면 장력에 의한 압력 상당치와 같아지는 점($P_0 + \Delta P_S = 0$)까지는 유동이 형성되지 않다가 아주 미소하게 외압이 더 커지면 함침이 일어나기는 하지만 함침 시간은 다소 길다. 하지만 외압이 약간 증가하면 함침 시간이 급격하게 감소하며, 이 때의 외압의 크기도 매우 작음을 알 수 있다. 이를 종합하면 표면 장력은 일종의 초기 유동 장벽의 역할을 한다고 할 수 있다. 일단

유동이 형성되면 함침 시간은 극히 짧다.

2.3 평직 내로의 melt 함침 해석 결과

본 유동 해석을 통하여 도출된 결론은, melt 함침에 필요한 요구 가압력은 최대 0.8MPa 이하로 의외로 낮다는 것이다. 따라서 공정을 설계함에 있어 금형 내부 온도를 모니터링하면서 최적의 가압 시기를 설정하면 금속 복합재 제조의 성형상 난점을 크게 개선할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 표면 장력은 초기 유동을 방해하는 결정적 요인이며, 외부 압력이 표면 장력에 의한 압력보다 조금만 크면 완전한 함침을 위한 시간은 극히 짧아서 유동 저항은 무시하여도 된다는 결론을 내릴 수 있다.

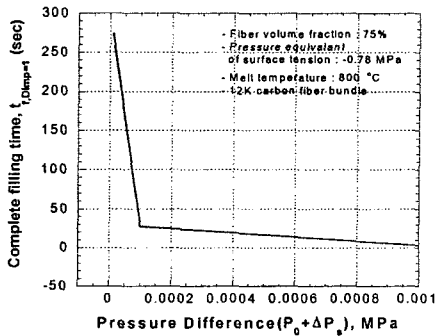


Fig.3 Effect of pressure for perfect infiltration

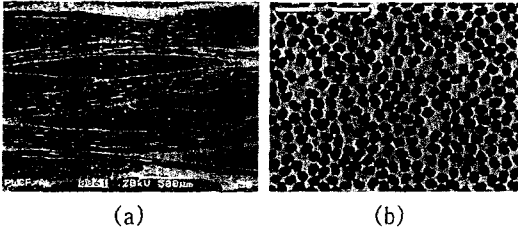


Fig.4 SEM photographs of cross-section perpendicular to warp direction for woven fabric reinforced Al matrix composites : (a) x 50 ; (b) x 500.

3. 액상가압성형 공정에 의한 시제 제조

이론적인 melt 함침 해석으로부터, 액상 가압 성형의 개념을 도입하여 금속복합재료를 제조하고자 한다. 사용될 금형은 액상 가압 시에 정수압 작용하는 원리를 이용하여 설계/제작하였다. 시제의 크기는 100mm(L) x 100mm(W) x 1.5mm(t)이며, 제조 조

건은 용해 온도 800 °C, 가압력은 20MPa를 사용하였다. 20 MPa의 가압력은 함침에 필요한 이론적인 최소 요구 가압력인 0.8MPa과 금형 재질인 SUS 판재의 고온 소성 유동 응력[4]을 고려하여 설정하였다. Fig.4은 제작된 시제의 단면 사진으로 함침이 잘 되어 있음을 보여 주고 있다.

4. 열특성 평가

제조된 금속복합재료의 밀도는 Densitometer를 이용하여 측정하였으며, 팽창 계수는 스트레인 게이지를 이용하여 측정하였다. 크기는 20mm x 20mm이며, 열팽창 계수 측정을 위한 시편준비는 두개의 고온용 스트레인 게이지를 시편의 중심선에서 길이 방향에 대하여 대칭으로 접착하였다. 온도 변화에 의한 오차를 최소화하기 위하여 고온용 접착제와 테프론 코팅 리드선을 사용하였다. 준비된 시편은 상온에서 2시간 정도 유지하여 안정화시킨 후 상온에서 200°C 까지 20°C의 온도 간격으로 상승시켰으며, 각 측정 온도 구간에서는 시편이 온도 평형에 도달할 때까지 충분히 유지시킨 다음 열변형을 측정하였다. 열전도도는 레이저 플래시 장비(Laser flash method)를 이용하여 측정하였으며, 시편은 20mm x 20 mm 크기를 사용하였다. Table 2는 열특성평가 결과를 현재 PDP배면판에 사용되고 있는 강화유리(PD200, Soda Lime)와 비교하여 나타낸 것이다.

Table 2 Physical properties of woven fabric reinforced Al matrix composites and PDP rear glass.

| Materials | Density (g/cm ³) | CTE (10 ⁻⁶ /°C) | | Thermal conductivity (W/mK, kz) |
|---------------------------|------------------------------|----------------------------|------------|---------------------------------|
| | | α_x | α_y | |
| Al/Carbon fiber Composite | 2.305 | 8.3 | 8.3 | 40 |
| PDP rear glass | 2.5 | 8.3 | | 0.7 |

밀도의 경우, 금속복합재료가 더 낮은 값을 가지는 것을 확인할 수 있는데, 현용 유리 판재에 비해 약 38%의 경량화를 기대할 수 있다. 열팽창계수는 유리와 거의 유사한 값을 가지므로서 대체 소재로의 가능성을 확인할 수 있었다. 열전도도 또한 유리에 비해 매우 우수한 특성을 나타냈다, 그리고 PAN type 보다 열전도도가 우수한 Pitch type의 섬유를

사용할 경우 더 우수한 열전도도를 나타낼 것으로 예상할 수 있으며 현재 연구를 진행 중이다. 결론적으로 PDP배면판 소재로서 금속복합재료의 사용 가능성을 확인할 수 있었다.

5. 절연처리

금속복합재료는 도체이기 때문에 PDP배면판으로 사용하기 위해서는 절연처리가 반드시 필요하다. 본 연구에서는 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 절연 피막처리에 관한 실험을 하였다. 실험은 가압전력 300W, Ar가스(10sccm) 분위기에서 SiO₂ 절연막을 제조된 금속복합재료에서 증착시키는 방법을 사용하였다. 실험결과, Fig. 5와 같이 약 300nm 두께의 증착막이 균일하게 형성되어 있는 것을 확인할 수 있었다.

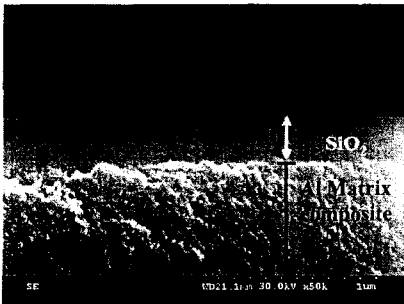


Fig.5 SEM photograph of SiO₂ thin film on woven fabric reinforced Al matrix composites.

6. 결론

1) 직조형 금속복합재료의 함침 해석 결과, 함침은 섬유 다발과 다발 사이를 우선적으로 채우고, 그 다음 섬유 다발 내로 섬유축 방향 유동이 일어나 함침된다. 유동 해석을 통하여 계산된 melt 함침에 필요한 요구 가압력은 최대 0.8MPa 이하로 의외로 낮았다. 따라서 공정을 설계함에 있어 금형 내부 온도를 모니터링하면서 최적의 가압 시기를 설정하면 금속복합재료 제조의 성형상의 난점을 크게 개선할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 표면 장력은 초기 유동을 방해하는 결정적 요인으로, 외부 압력이 표면 장력에 의한 압력보다 조금만 크면 완전한 함침을 위한 시간은 극히 짧아지며 유동 저항은 무시하여도

된다는 결론을 내릴 수 있다.

2) 본 연구에서 도입한 액상 가압 성형의 개념을 이용하여 직조형 금속복합재료 박판 제조와 저압 성형의 가능성을 확인하였다.

3) 제조된 금속복합재료의 열팽창 계수 및 열전도도 등의 실험결과, PDP배면판으로 활용가능한 특성을 확인할 수 있었고, 이를 바탕으로 실제 소재화에 필요한 절연막 증착을 시도하여, 비교적 균일한 증착막형성 결과를 얻었다.

후기

이 논문은 과학기술부가 지원하는 차세대 정보 디스플레이 기술개발사업단의 연구비를 지원받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) M. L. Seleznev, J. A. Cornie and M. A. Ryals, "Development of Al Matrix Components for Thermal Management Applications", 44th Int'l SAMPE Sym., May 23-27, pp1281-1291, 1999
- (2) B. J. Keene, "Review of Data for the Surface Tension of Pure Metals," International Materials Reviews, Vol.38, No.4, pp.157-192, 1993
- (3) Moon-Kwang Um, Isaac M. Daniel and Brian W. Childs, "A Gas Flow Method for Determination of In-Plane Permeability of Fiber Preforms," Polymer Composites, Vol.22, No.1, pp.47-56, 2001
- (4) H.J. McQueen, N. Jin, N.D. and N.D. Ryan, "Relationship of Energy Dissipation Efficiency to Microstructural Evolution in Hot Working of AISI 304 Steel", Mat. Sci. and Eng. A 190, pp43-53, 1995
- (5) H. Y. Lee, S. H. Hong et al, "Fabrication Process and Thermal Properties of SiCp/Al Metal Matrix Composites for Electronic Packaging Applications", J. of Mat's Sci, Vol.35, pp6231-6236, 2000