

복합재료의 열충격 특성 평가

이진경*·박영철**·이준현***·이상필*

A Study on Thermal Shock Characterization of Composite

Jin Kyung Lee, Young Chul Park, Joon Hyun Lee and Sang Pill Lee

Abstract

A smart material is used as spectacle frames and brassiere frames, and partly in medical supplies because of its shape memory effect. The smart composite can be used on the wing of an airplane instead of the existing aluminium to control crack propagation. In this study, the smart composite was fabricated by a hot press method. TiNi alloy as reinforcement and Al6061 as matrix were used, respectively. The mechanical properties of the smart composite under thermal shock cycles were evaluated. In addition, Acoustic Emission techniques were also used to clarify the damage behavior of the smart composite under thermal shock cycles nondestructive.

Key Words: Smart material, Shape memory effect, Hot press, TiNi alloy, Thermal shock, Acoustic emission, Nondestructive test

1. 서 론

형상기억복합재료는 기존의 금속복합재료(MMC)에 비하여 많은 장점을 가지고 있다. 형상기억복합재료에 강화제로써 이용되는 형상기억합금은 형상기억효과를 이용하여 복합재료 내에 발생하는 균열의 진전을 억제할 수 있는 능력을 가지고 있기 때문이다.[1-2] 지금까지 새로운 형상기억합금의 개발 및 형상기억합금의 기계적인 성질에 관한 연구가 많이 진행되어 왔다. 그러나 형상기억합금을 일반적인 금속과 성형하여 제작한 형상기억복합재료에 대하여는 많은 연구가 이루어지지 않았고 특히 형상기억복합재료를 제조하여 형상기억복합재료 내부의 균열의 진전을 억제하는 health monitoring system에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 그러나 형상기억합금을 이용

한 health monitoring system은 항공기 날개의 균열의 발생을 감지하여 균열전파를 억제할 수 있는 시스템으로 항공기의 안전성 및 운항에 많은 이점을 줄 것으로 기대된다. 특히 항공기는 저온(233K)과 고온(373K)의 열악한 환경에서 반복적으로 운항을 하기 때문에 항공기 날개 및 각 부품들은 반복적인 열충격을 받는다. 따라서 반복적인 열충격에 의해 재료 내부에 균열이 발생하여 성장할 수 있으며 이와 같은 열충격은 항공기의 안전성에 치명적일 수 있기 때문에 반드시 균열의 발생 및 성장을 사전에 제어하여야 한다. 본 연구에서는 항공기 날개의 재료로 사용되어지고 health monitoring system을 위한 TiNi/Al2024 형상기억 복합재료를 제조하였다. 또한 TiNi/Al2024 형상기억 복합재료를 항공기 재료로써 이용하기 위하여 형상기억 복합재료의 열충격 특성에 대하여 평가하였으며 특히 음향방출 기법을 이용하여 TiNi/Al2024 형상기억 복합재료의 열충격 특성에 따른 미시적 손상거동을 비파괴적으로 평가하였다.[3]

* 동의대학교 기계공학부

** 동아대학교 기계공학부

*** 부산대학교 기계공학부

2. 시험편 제작 및 실험방법

본 연구에서는 형상기억복합재료를 제조하기 위하여 강화재 TiNi와 기지재료로써 Al2024이 사용되었다. Fig. 1은 형상기억복합재료의 제작과정을 나타낸 것으로써 TiNi의 지름은 500 μ m이며 Al2024는 1mm의 판재이다. 그리고 TiNi 파이프를 일정하게 고정하기 위하여 고정장치를 사용하였다. 본 연구에서는 833K의 온도와 60MPa의 압력에서 30분 동안 핫 프레스에서 시험편이 제작되었다. TiNi 파이프의 체적률은 5%로 정하였으며 열처리 과정과 pre strain 과정을 통하여 시험편을 제작하였다. 그리고 마지막으로 60 \times 5 \times 2(mm)의 치수로 가공하였다. 시험편에 열충격을 주기 위하여 열충격 장치가 제작되었으며 Fig. 2에 나타내었다. 시험편에 열충격을 주기 위하여

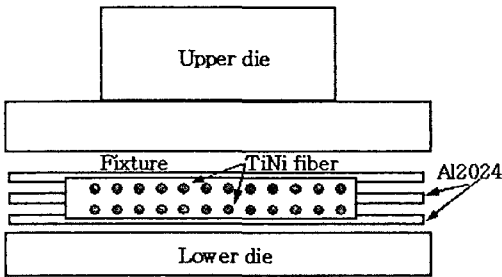


Fig. 1 Fabrication procedure of SMA composite using hot press

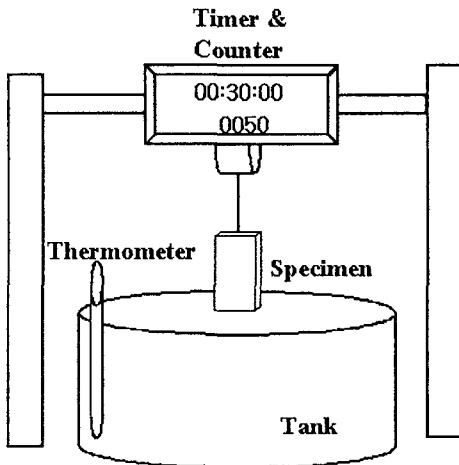


Fig. 2 Schematic diagram of thermal shock test

Fig. 2에 보여주는 바와 같이 먼저 시험편 아래에 있는 냉각장치(223K)에 시험편을 10분 동안 냉각시킨다. 10분 동안 냉각된후 시험편은 다시 상온에서 10분동안 유지시킨 후 다시 냉각장치에 떨어뜨려 냉각시키는 방법으로, 반복적으로 열충격을 가하였다. 복합재료의 열충격 특성을 평가하기 위하여 50, 100, 300, 500, 700회로 열충격을 가하여 시험편의 손상을 평가하였다. 이와 같이 열충격을 받은 시험편에 대하여 인장하중을 가하여 열충격 사이클에 따른 인장강도의 변화를 관찰하였다. 또한 음향방출 기법을 이용하여 열충격을 받은 TiNi/Al2024 형상기억 복합재료의 미세적 파괴특성을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig 3에 보여주는 바와 같이 TiNi/Al2024 형상기억 복합재료는 열충격 사이클이 증가함에 따라 인장강도 및 항복강도는 선형적으로 감소하고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 열충격 사이클이 증가함에 따라 형상기억 복합재료의 기계적 성질이 점차적으로 취화되고 강화재와 기지재 사이의 경계에서 접합강도가 점차적으로 약화되기 때문에 복합재료의 강도가 감소하는 것으로 판단된다. 그러나 탄성계수는 열충격 사이클이 증가하더라도 변동이 거의 없었다. Fig 4와 Fig 5, Fig 6은 500회의 열충격을 받은 시험편에 대한 손상 거동과 AE 신호와의 관계를 나타낸 것으로 Fig. 4에서는 500회의 열충격을 받은 시험편에서의 하중과 AE 사상수와의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보여주는 바와 같이 하중초기 탄성영역에서 많은 AE 신호가 발생하고 있음을 알 수 있다. AE 사상수는 소성영역초기부터 점차적으로 감소하지만 복합재료의 최종파단의 50% 지점부터 다시 증가하는 경향을 보여주고 있으며 최대 하중 지점에서 AE 사상수는 급격히 증가하고 있다. 하중 초기에 다수의 AE 사상수가 발생하는 것은 복합재료 내부에 인장하중이 가해짐과 동시에 debonding 현상에 의해 AE 신호가 발생하였기 때문이다. 일반적으로 금속재료에서 탄성영역에서는 AE 신호가 거의 발생하지 않는 현상에 비하여 복합재료에서 복합재료 내부의 균열과 같은 결함에서 소수의 AE 신호가 발생한다. 그러나 500회의 열충격을 받은 시험편인 경우 열충격에

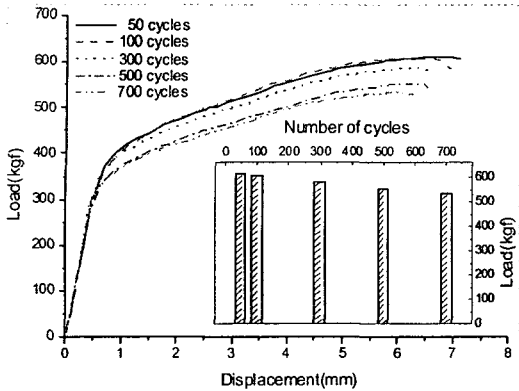


Fig. 3 Tensile strength according to the thermal shock cycle

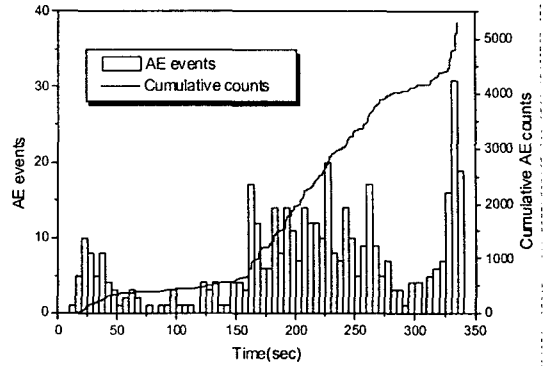


Fig. 5. The relationship between the AE events and cumulative AE counts (500 cycles)

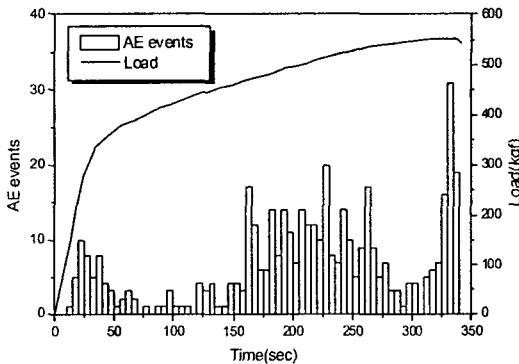


Fig. 4 The relationship between the AE events and tensile strength (500 cycles)

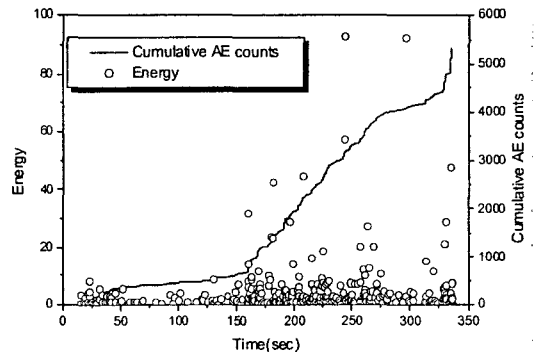


Fig. 6 The relationship between the energy and cumulative AE count

의해 강화재와 기지재 사이에 결합력이 약해져 외부의 하중이 가해질 경우 debonding에 의해 하중 초기 소수의 AE 신호가 발생한다. 소성영역 초기에 AE 사상수가 감소한 것은 미리 탄성영역에서 외부 하중에 의해 다수의 debonding 현상이 발생하였기 때문이라 사료된다. 그러나 하중이 점차적으로 가해짐에 따라 복합재료의 급격한 소성거동과 debonding 현상의 발생에 다수의 AE 사상수가 발생하고 있음을 알 수 있다. 마지막으로 복합재료가 완전 파단됨과 동시에 파이프의 파단과 거시적 균열의 발생, 성장에 따라 다수의 AE 사상수가 발생한다. Fig 5에서는 AE 사상수와 AE 카운터와의 관계를 나타낸다. 하중초기 AE 사상수의 증가에 따라 AE 카운터 수는 점차적으

로 증가하고 있지만 AE 사상수가 감소하는 영역, 즉 소성영역의 초기에서는 카운터 수는 거의 증가하지 않는다. 완전파단의 약 50%지점에서 AE 카운터는 급속히 증가하고 증가속도는 최종파단의 약 80%지점에서 급속히 감소한다. 이와 같이 AE 카운터의 변화를 통해서 복합재료의 손상정도를 추정할 수 있다. Fig 6에서는 하중 증가에 따른 AE 에너지의 변화를 나타낸 것으로 그림에서 보여주는 바와 같이 탄성영역과 소성영역 초기에서는 10이하의 에너지 신호가 발생하지만 소성영역이 진행됨에 따라 10 이상의 에너지를 갖는 신호가 다수 발생하고 있다. 이러한 결과는 10이상의 에너지를 가지는 AE 신호가 발생하면 복합재료 완전파단의 50%지점까지 도달하였음을

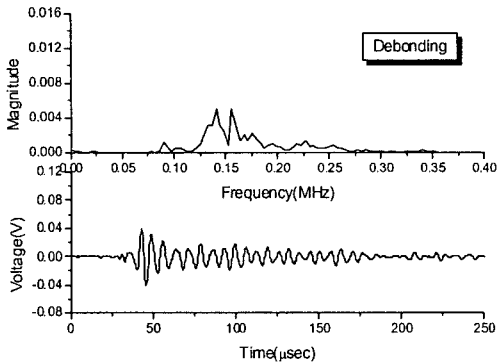


Fig. 7 Typical waveform and spectrum due to the debonding.

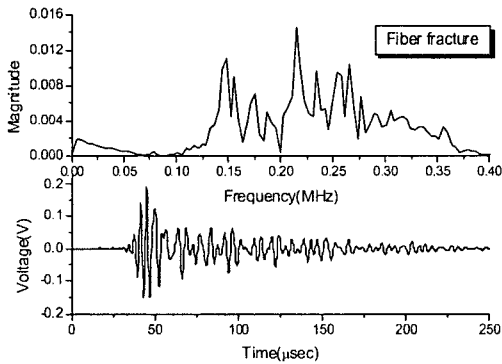


Fig. 8 Typical waveform and spectrum due to the fiber fracture

나타낸다. 이와 같은 결과로부터 AE 파라미터 중 AE 사상수, 카운터 그리고 에너지들은 열충격을 받은 복합재료의 손상거동 및 손상정도를 평가하는데 유용한 파라미터임을 알 수 있다. Fig. 7과 8에서는 복합재료의 미시적 손상거동에 따른 전형적인 파형과 주파수 특성을 보여주고 있다. Fig 7에서는 하중초기 debonding에 의해 발생하는 신호의 파형과 주파수 특성을 보여주고 있다. 파형은 펄스형과 최대 160kHz의 주파수 특성을 보여주고 있다. 발생하는 파형의 크기는 debonding의 크기 및 방향 등에 따라 다양하게 나타나지만 주파수는 160kHz의 주파수 특성을 보여주었다. Fig 8에서는 파이프의 파단에 의해 발생하는 파형과 주파수 특성을 나타낸 것으로 대단히 높은 크기의 펄스형 파형과 최대 220kHz의 주파수 특성을 나타내었다. 파형은 debonding의 것과 비슷

하지만 주파수 영역은 파이프의 파단에 의한 신호가 높은 주파수 특성을 나타내었다.

4. 결론

1. 핫 프레스를 이용한 TiNi/Al2024 형상기억 복합재료의 최적의 제조조건은 833K의 온도와 60MPa, 30분 동안 노 안에서 유지였다.
2. TiNi/Al2024 형상기억복합재료의 파괴강도와 변형은 열충격 사이클의 증가에 따라 선형적으로 감소하였다.
3. AE 사상수는 하중초기 탄성영역에서는 debonding에 의해 다수 발생하지만 소성영역의 초기부터는 감소하였으며 최대하중에서 다시 급격히 증가하였으며 AE 사상수, 카운터, 에너지가 미시적 손상거동을 평가하는데 유용한 파라미터였다.
- 4 debonding에 의한 파형은 펄스형태이며 160kHz의 주파수 특성을 보여주고 파이프의 파단에 의한 신호는 높은 크기의 펄스형이지만 주파수 영역은 220kHz를 나타내었다.

참고문헌

- (1) T.H. Nam and S.H. Kang, "Effect of Ball Milling Conditions on the Microstructure and the Transformation Behavior of Ti-Ni and Ti-Ni-Cu Shape Memory Alloy Powders", Metals and Materials International, Vol.8, No. 2, 2002, pp. 145-150
- (2) S.H. Kang, S.G. Hur, H.W. Lee and T.H. Nam", Microstructures and Transformation Behavior of Ti-Ni-Cu Shape Memory Alloy Powders Fabricated by Ball Milling Method", Metals and Materials International, Vol.6, No. 4, 2000, pp. 381-387
- (3) J.K. Lee, Y.C. Park, J.H. Lee, S.P. Lee and K.D. Hur, "Nondestructive Evaluation and Fracture Mechanism of Smart Material", Key Engineering Materials, Vol.264-263, 2004 pp.1379-1384