

Ni-Ti 형상기억합금의 상변환 거동 연구

조보*(금오공대 대학원 기계공학과), 오진오(금오공대 대학원 기계공학과),
윤성호(금오공대 기계공학부)

Phase Transformation Behaviors of Ni-Ti shape memory Alloys

B. Zhou(Mech. Eng. Dept., KIT), J. O. Oh(Mech. Eng. Dept., KIT), S. H. Yoon(Mech. Eng. Dept., KIT)

ABSTRACT

The phase transformation behaviors of Ni-Ti shape memory alloys were investigated through a DSC(Differential Scanning Calorimetry). The annealing temperatures were applied from 600°C, 700°C, 800°C, and 900°C for their effects on the phase transformation behaviors. Based on the results of DSC, phase transformation behaviors of shape memory alloys can be predicted by Liang's phase transformation model or Tanaka's phase transformation model.

Key Words : shape memory alloy(형상기억합금), phase transformation behaviors(상변환 거동), annealing temperatures(어닐링 온도)

1. 서론

스마트 재료 중의 하나인 형상기억합금은 스마트 구조재에 적용되는 각종 센서와 구동장치의 제작에 활용되고 있다. 형상기억합금은 다른 스마트 재료와는 달리 마르텐사이트 상과 오스테나이트 상 사이의 변환으로 인해 매우 큰 변형률을 회복할 수 있는 능력을 가지기 때문에 큰 형상 변화가 요구되거나 큰 구동력을 필요로 하는 경우에 쉽게 사용할 수 있다. 그러나 형상기억합금을 널리 사용하기 위해서는 형상기억합금의 상변환 거동이 실험적 또는 이론적으로 연구되어야 할 필요가 있다. 최근까지 형상기억합금의 상변환 거동에 대해 실험적인 방법에 의해 규명하려는 많은 시도가 행해졌다[1,2]. Muller[3]에 의해 상변환 거동에 대한 연구가 진행된 이후로 형상기억합금의 상변환 거동을 규명하기 위해 Tanaka에 제시된 exponential 모델[4]과 Liang에 의해 제시된 cosine 모델[5]이 활용되고 있다.

본 연구에서는 DSC를 통해 어닐링 열처리 온도를 달리한 Ni-Ti 형상기억합금의 상변환 거동을 조사하였다. 또한 DSC 결과를 토대로 형상기억합금의 상변환 거동을 예측하기 위한 기존의 모델에 대한 적절성을 조사하였다.

2. 상변환 거동

형상기억합금의 상변환 거동을 조사하기 위해 일련의 DSC 시험을 수행하였다. 그림 1에는 실험에 적용된 실험장치인 Perkin-Elmer/Pyris-1이 나타나 있다. DSC는 시료의 열흐름 차이를 감지하는 장치로서 하중이 작용되지 않은 상태에서의 상변환 온도를 측정

하는 장치이며 실험을 위해 먼저 120°C로 상승시켜 3분 정도 유지한 후 10°C/min의 온도변화율로 -50°C까지 냉각시키고 뒤이어 -50°C에서 다시 3분 정도 유지한 후 10°C/min의 온도변화율로 120°C까지 다시 상승시키는 조건을 적용하였다.

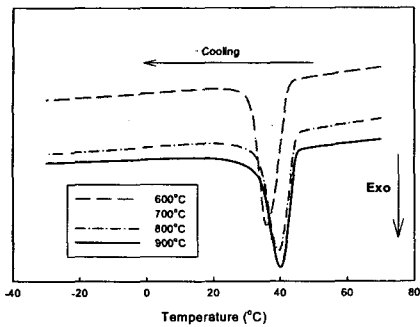


Fig.1 Experimental equipment of DSC

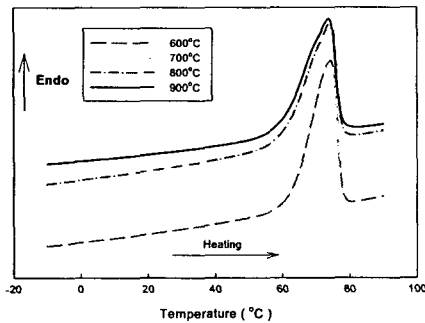
3. 실험결과

그림 2에는 DSC를 통해 측정된 온도 변화에 따른 열흐름이 나타나 있으며 표 1에는 어닐링 열처리 온도에 따른 상변환 온도가 정리되어 나타나 있다. 여기에서 보면 어닐링 열처리 온도가 상변환 거동에 미치는 영향은 마르텐사이트 상으로 변환하는 과정이 오스테나이트 상으로 변환하는 과정보다 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 또한 마르텐사이트 상으로 변환하는 동안에는 어닐링 열처리 온도가 높아질수록 상변환 온도는 증가함도 알 수 있다.

그림 3에는 어닐링 열처리 온도를 900°C로 적용한 경우 Tanaka 상변환 모델과 Liang 상변환 모델에



(a) In the case of cooling



(b) In the case of heating

Fig. 2 DSC results for several annealing temperatures

Table 1. Phase transformation temperatures of SMAs

| Annealing temp (°C) | M_f (°C) | M_s (°C) | A_s (°C) | A_f (°C) |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|
| 600 | 31.42 | 42.36 | 62.88 | 77.64 |
| 700 | 32.80 | 44.06 | 60.99 | 77.20 |
| 800 | 33.36 | 44.61 | 60.61 | 77.47 |
| 900 | 33.54 | 44.74 | 60.05 | 77.30 |

의한 분위기 온도에 따른 마르텐사이트 체적률의 변화가 나타나 있다. 이들 모델은 형상기억합금의 상변환 거동을 비교적 잘 예측할 수 있는 것으로 알려져 있다. 여기에서 보면 Tanaka 상변환 모델의 경우 마르텐사이트 체적률은 상변환의 종료 단계에 비해 상변환 초기 단계에서 아주 큰 변화를 보이지만 Liang 상변환 모델은 상변환의 초기 또는 종료 단계에 큰 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 이러한 마르텐사이트 체적률은 형상기억합금의 상변환 거동 뿐 아니라 기계적 거동에 민감한 영향을 미치는 인자이기 때문에 분위기 온도에 따른 변화를 실험적인 방법을 통해 정량적으로 규명할 수 있는 방안이 대한 연구가 필요하다.

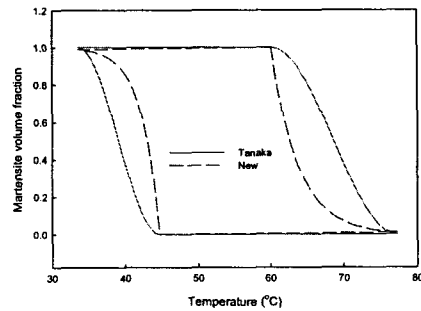


Fig. 3 Martensite volume fraction versus temperatures

4. 결론

Ni-Ti 형상기억합금의 상변환 거동을 조사하기 위한 연구를 통해 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

어닐링 열처리 온도가 상변환 거동에 미치는 영향은 마르텐사이트 상으로 변환하는 과정이 오스테나이트 상으로 변환하는 과정보다 큰 영향을 미치며 마르텐사이트 상으로 변환하는 동안에는 어닐링 열처리 온도가 높아질수록 상변환 온도는 증가하였다. 또한 Tanaka 상변환 모델을 적용하는 경우 마르텐사이트 체적률은 상변환의 종료 단계에 비해 초기 단계에서 큰 변화를 나타내지만 Liang 상변환 모델을 적용하는 경우 상변환의 초기 또는 종료 단계에 큰 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

참고문헌

- 1 S. H. Yoon, et. al., "Effects of annealing heat treatment conditions on phase transformation of nitinol shape memory alloy," Journal of The Korean Society for Composite Materials, 2005, Vol.18, pp.38-45.
- 2 B. Zhou and S. H. Yoon, "Study on phase transformation and thermomechanical behaviors of Ni-Ti shape memory alloy," Proceeding of International Conference on Mechanical Engineering and Mechanics, 2005, China, pp.1001-1005.
- 3 I. Muller, "A model for a body with shape memory," Arch. Rat. Mech. Anal., 1979, No.70 pp.61-67.
- 4 K. Tanaka, "A thermomechanical sketch of shape memory effects: one-dimensional tensile behavior," Res. Mechanica, 1986, Vol.118, pp.251-263.
- 5 C. Liang and C. A. Rogers, "One-dimensional thermomechanical constitutive relations for shape memory materials," J. of Intell. Mater. Syst. and Struct., 1990, Vol.1, pp.207-234.