

고온 구조용 금속재료의 크리프 손상 평가를 위한 비파괴평가법의 응용 (Application of nondestructive evaluation methods for creep damage assessment of high temperature structural metallic materials)

고려대학교 신소재공학과 변재원, 송진현, 김용환, 김정석, 권숙인
서울산업대학교 신소재공학과 박은수

1. 서론

발전 설비 등과 같은 고온의 가혹한 환경에서 많이 사용되는 소재중의 하나가 니켈기 초내열 합금이며, 이들 재료에서 나타나는 가장 전형적이고 직접적인 손상 기구는 고온에서 장시간 응력을 받음으로써 열화가 일어나는 크리프 손상이다. 따라서 고온 구조물의 안전성을 평가하는데 있어서 크리프 손상의 평가가 무엇보다 중요하다 할 수 있다. 그러나 실제 사용중인 구조물에 손상을 입히지 않고 분석을 위한 시편을 채취하는 것은 현실적으로 거의 불가능하므로, 구조물을 파손시키지 않고 손상 정도를 in-situ 모니터링 할 수 있는 비파괴 평가 기법의 확립이 필요하다. 본 연구에서는 크리프 손상재에 대한 비파괴적 평가 결과와, 파괴적 평가(미세조직 분석) 결과를 비교 고찰함으로써 미세조직 변화와 비파괴평가 파라미터 사이의 상관관계를 밝히고자 하였다.

2. 실험방법

고온 구조용 재료로 널리 사용되는 두 종류의 니켈기 초내열 합금(Inconel738LC 및 PM1000)을 사용하였다. 크리프 시험 온도, 응력, 시간을 변수로하여 인공적으로 크리프 손상 정도가 다른 시험편을 제작하였다. 이에 대해 크리프 공동의 양을 측정하였으며, 미세조직을 관찰하여 V' 상의 변화를 정량화하였다. 또한 초음파 속도, 감쇠계수를 수침법을 이용하여 측정하였으며 전기비저항을 4점단자법으로 측정하였다.

3. 실험결과

PM1000의 경우 크리프 시간이 증가함에 따라 공동의 양이 증가하는 경향을 보였으며 초음파 속도는 공동의 양의 증가에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다. 공동의 생성에 따른 초음파 속도 감소 기구를 설명하기 위해 복합재료 모델을 적용하여 해석하였다. 본 연구에서는 크리프 손상에 의해 생긴 공동을 탄성계수가 영인 제2상으로 가정하여 복합재료 모델을 적용하였다. 복합재료 모델을 이용해 공동의 양에 따른 이론적 초음파 속도 변화값을 계산하였다. 비손상재의 경우는 이론치와 실험치가 일치하였으나 공동이 생성된 시편에서는 실험적으로 측정된 값이 이론적으로 계산된 값보다 더 적은 값을 나타내었다. 크리프 손상재에서 이론적으로 계산된 것보다 측정된 속도가 더 작은 것은 전위밀도 증가에 의한 속도 감소 효과가 공동에 의한 영향과 합쳐져 복합적으로 나타났기 때문인 것으로 생각된다.

4. 결론

1. 크리프 공동이 증가함에 따라 초음파 전파 속도는 감소하는 경향을 보였다.
2. 크리프 공동의 양이 증가함에 따른 초음파 속도 감소는 주로 공동에 의한 탄성계수의 감소 효과에 기인한 것이다. 또한 복합재료 모델을 적용하여 구한 유효탄성계수 값을 이용하여 공동의 양에 따른 이론적 초음파 속도 변화량을 구할 수 있었다.
3. 크리프 손상재에 대해 복합재료 모델을 적용하여 이론적으로 예측한 초음파 속도보다 실험적으로 측정된 값이 더 작았는데 이는 크리프 공동에 의한 속도 감소 효과와 전위밀도 증가에 의한 속도 감소 효과가 중첩되어 나타났기 때문이다.