

초음파법을 이용한 Inconel 718의 열화도 평가에 관한 연구

박홍선¹, 김형익¹, *허 용¹, 박상열², 김문영², 석창성¹
¹성균관대학교 기계공학부, ²한전기공 G/T 정비센터

A Study on the Degradation of the Superalloy Inconel 718 using Ultrasonic Technique

H. S. Park¹, H. I. Kim¹, *Y. Huh¹, S. Y. Park², M. Y. Kim², C. S. Seok¹

¹Dept. of Mech. Eng., Sungkyunkwan Univ., ²KPS Gas Turbine Technology Service Center

Key words : Gas turbine bolt; Inconel 718; Hardness, Ultrasonic; Microstructure

1. 서론

니켈계 초합금인 Inconel 718(IN 718)은 1950 년대에 개발되어 상온에서 650°C 에 이르는 온도 범위에서 안정적인 기계적 물성을 갖고 있어 고온에서 운전하는 가스터빈 부품의 재료로 사용되고 있다[1]. Inconel 718 소재는 가스터빈의 볼트에 사용되는 재료로 가스터빈의 특성상 고온·고압·고회전 등의 조건과 빈번한 부하변동 및 기동 정지로 인하여 부품의 손상빈도가 높아 설비의 손상상태를 정밀하고 체계적으로 진단하고 이를 기초로 부품에 대한 건전성을 평가하는 것이 요구된다[2].

부품에 대한 건전성을 평가하는 방법으로 인장시험, 파괴시험, 파괴인성시험등과 같은 파괴적인 방법에 의존한다. 그리고 시험에 사용할 시편을 제작하기 위해서는 물성을 측정할 부품을 절단하거나 가공하는 것이 불가피하다. 따라서 비파괴적인 측정 기법은 부품에 어떠한 손상을 가하지 않은 상태에서 기계적 물성 변화를 측정할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 그 중에서 초음파 탐상시험은 가동 중인 설비에 적용할 수 있다는 장점을 갖고 있다[3].

초음파 탐상시험은 초음파가 가지고 있는 물리적 성질을 이용하여 시험체 내에 존재하는 결함을 검출하고, 검출한 결함의 성질과 상태를 조사하는 비파괴시험이다. 초음파에 의한 비파괴적인 평가기술은 원자력 발전설비, 석유화학 플랜트 등 거대설비. 기기의 건전성 및 신뢰성을 확보하고 잔존수명을 예측하는 기술로 그 적용범위가 확대되어 가고 있다. 초음파를 이용한 비파괴적인 평가기술은 파괴시험이나 다른 비파괴 평가기술에 비해 간편한 측정, 높은 측정정확도, 시험결과 도출의 신속성, 검사비용의 저렴함 등 많은 장점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 초음파법을 이용하여 니켈계 초합금인 Inconel 718 재질의 가스터빈 볼트에 대한 열화도를 측정하고자 한다. 사용된 Inconel 718 소재와 1 주기 운전한 가스터빈 볼트에 대해 초음파 시험을 실시하여 초음파 속도의 변화를 관찰하고, 또한 재료 물성 시험을 실시하여 그 결과와 초음파 특성을 비교하고자 한다. 또한 미세조직을 관찰하여 열화에 따른 변화를 살펴보고자 한다.

2. 재료 및 시험편

본 연구에 사용된 Inconel 718 소재는 가스터빈에서 볼트의 재료로 사용되고 있으며, 고온·고압·고회전 등의 조건과 빈번한 부하변동 및 기동 정지 등의 부하 환경에 노출되어 있다. SAE AMS 에서 규정하고 있는 Inconel 718 소재의 화학적 조성을 Table 1 에 나타내었다.

시험에 사용된 시편은 신재 1 종류와 실제 1 주기 운전

Table 1 Chemical composition (wt%)

Ni	Cr	Fe	Nb	Mo	Al	Ti	C	Co
Bal.	17.0-21.0	16.0-20.0	4.75-5.5	2.8-3.3	0.2-0.8	0.65-1.15	0.08 Max	1.0 Max

하여 가동된 사용 볼트 재료 2 종류로서, 신재는 볼트 제작 후에 행해지는 열처리 과정을 모두 거쳐서 사용하기 전 단계에 있는 신재 볼트(BB)에서 채취하였으며, 사용 재료는 터빈 로터 휠들을 묶어주어 터빈부의 고온 환경에 노출되는 터빈부의 볼트(TB)와 압축기와 터빈부를 연결하여 터빈 볼트보다 낮은 온도 환경에 노출된 연결부 볼트(MB)에서 채취하였다.

3. 실험결과

3.1 인장시험

신재 볼트와 사용재인 터빈부 볼트와 연결부 볼트에서 시편을 채취하여 재료의 인장특성을 평가하였다. 시험에 사용된 시편은 평행부 직경 9mm, 평행부의 길이를 50mm 로 제작하였다. 시험은 ASTM E8 에 준하여 1mm/min 의 속도로 상온에서 실시하였다. 그리고 Extensometer 를 이용하여 재료의 변형율을 측정하였다.

재료별 인장 시험 결과를 Table 2 에 정리하였다. 인장 시험 결과를 보면, 신재가 큰 강도 값을 나타내었으며, 사용재인 터빈부 볼트와 연결부 볼트에서 채취한 시편의 시험 결과는 신재에 비하여 상대적으로 낮게 나타났다. 이는 열화에 따라 강도가 저하된 것으로 여겨지며, 사용재는 비슷한 강도 값을 나타내었다. Fig. 1 에 신재와 사용재에 대한 인장 강도값과 항복 강도값을 비교하였다.

3.2 경도시험

경도시험을 위하여 3 종류의 재료에 대해서 측정면을 1 μm 크기의 알루미나 분말을 이용하여 습식으로 경면 제작하였다. 시험은 각 재료별 5회 실시하였다.

Table 2 에 측정된 경도값의 평균을 인장시험의 결과와 함께 나타내었으며, Fig. 2 에 재료별 경도값을 표시하였다. 경도 시험 결과, 인장시험에서와 같이 신재 볼트가 사용재 볼트에 비하여 높은 경도 값을 나타내었으며, 인장 시험에서는 사용재간의 강도차이가 없었지만 보다 높은 온도 환경에서 가동되는 터빈부 볼트가 더 낮은 경도값을 나타내었다.

3.3 초음파 특성 측정

초음파 특성 측정을 위하여 인장시험편과 같은 형상의 시편을 이용하여 초음파 시험을 실시하였다. 초음파 특성 중에서 종파 속도를 측정하기 위해서 2.25MHz 의 주파수를

Table 2 Results of tensile and hardness test and ultrasonic test

Material	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)	Uniform Elongation (%)	Vickers Hardness	Ultrasonic velocity (m/s)
BB	1586	1350	35.6	399.0	5838.2
MB	1447	1260	47.1	396.0	5821.3
TB	1460	1239	36.7	377.2	5804.6

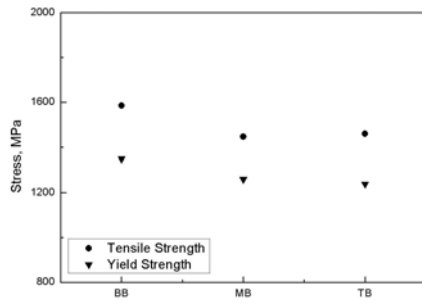


Fig. 1 The results of tensile test

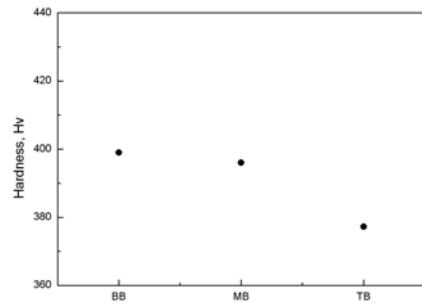


Fig. 2 The results of micro hardness test

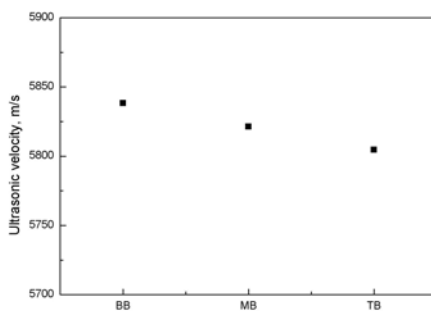


Fig. 3 The results of Ultrasonic test

갖는 탐촉자를 이용하였으며, 시편의 한쪽 끝단에 탐촉자를 올려놓고 시편에 수직 입사하여 반사되어 나오는 신호를 오실로스코프를 이용하여 받았으며, 이 신호를 이용하여 재료 내를 이동하는 초음파 시간을 측정하였다.

Table 2와 Fig. 3에 시편 길이에 대한 초음파 이동 시간을 나누어 재료를 통과하는 초음파 속도를 나타내었다. 신재의 초음파 속도가 더 높게 나타났으며, 고온 환경에 노출되어 있었던 터빈부 볼트의 초음파 속도가 낮게 측정되었다. 이를 통하여 열화가 더 진행된 재료일수록 초음파 속도가 늦어짐을 알 수 있다.

3.4 미세조직 관찰

인장시험과 경도시험, 초음파 시험간의 관계를 알아보 고자 재료의 미세조직을 관찰해 보았다. 3 종류의 재료에 대해서 관찰면을 1 μm 크기의 알루미늄 분말을 이용하여 습식으로 경면 연마하였으며, 염산과 질산, 제 3 염화철을 혼합한 에칭액에 수초 동안 담근 후에 조직을 관찰하였다.

Fig. 4에 각 재료별 미세조직을 관찰한 사진을 나타내었다. 그림에서 보는 것과 같이 육각모양의 결정들이 관찰되며, 결정경계에 검은색의 카바이드(Carbide)가 관찰되었다. 신재와 사용재의 결정크기를 비교해보면, 신재의 경우에는 결정의 크기가 작고 고루 분포되어 있는 반면에 사용재의 경우 커다란 크기의 결정들이 분포되어 있는 것을 알 수 있으며, 보다 높은 온도에 노출된 터빈부 볼트에서 결정들의 크기가 더 컸다. 즉, 열화가 진행될수록 조직

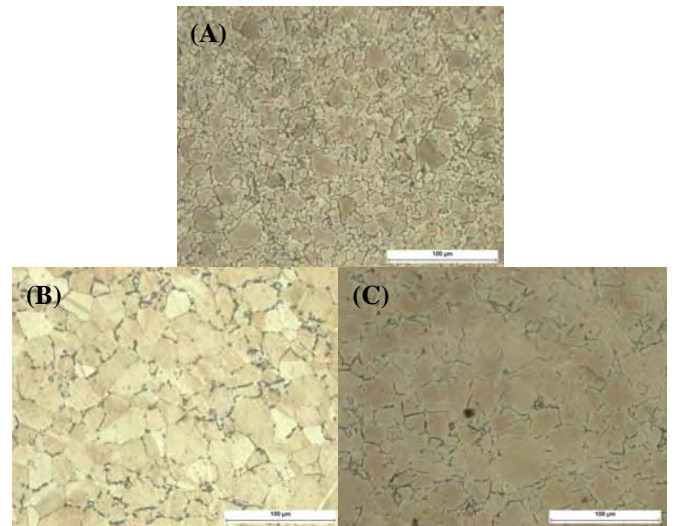


Fig. 4 Microstructure (X200)
(A) BB (B) MB (C) TB

의 크기가 커진다는 것을 알 수 있다.

미세조직과 기계적 물성, 초음파 특성과의 관계를 분석해 보면, 결정의 크기가 작을수록 강도값과 경도값이 우수하며, 초음파의 종파 속도가 더 빠르다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

가스터빈 볼트 재료로 사용되는 Inconel 718 재질에 대한 신재 볼트와 1 주기 운행한 볼트를 대상으로 초음파를 이용하여 열화에 따른 재료물성치의 변화를 측정하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 인장시험과 경도시험을 통해, 신재의 강도에 비하여 사용한 볼트의 강도가 더 낮게 측정되었으며, 더 높은 온도에 노출된 터빈부 볼트의 강도가 더 낮은 것을 통해 열화가 진행됨에 따라 강도값이 감소함을 알 수 있었으며, 터빈부의 열화가 더 진행됨을 알 수 있었다.

(2) 초음파의 종파속도를 측정한 결과, 열화가 진행됨에 따라 초음파 속도가 감소하였고 미세조직을 관찰함으로써 열화가 진행됨에 따라 결정의 크기가 커짐을 알 수 있었다.

(4) 초음파 속도와 경도와 강도값과의 관계를 통해 정성적으로 재료의 열화정도를 예측할 수 있으리라 판단된다.

후기

이 논문은 전력산업연구개발사업과 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었음

참고문헌

- G. Appa Rao, M. Srinivas, D.S. Sarma, "Effect of thermomechanical working on the microstructure and mechanical properties of hot isostatically pressed superalloy Inconel 718," *Materials Science and Engineering A* 383, 201-212, 2004
- 김정표, 석창성, "초음파법을 이용한 1Cr-1Mo-0.25V 강의 열화도 평가에 관한 연구," *대한기계학회 논문집 A 권 대한기계학회논문집 A 권 제 25 권 12 호*, 2001. 12, pp. 2116 ~ 2124
- 변재원, 권숙인, 박은수, 박익근, "인공 열화 열처리된 2.25CrMo 강의 미세조직 변화에 대한 초음파 비파괴평가." *열처리공학회지*, 제 14 권 제 2 호, pp.110-117, 2001