

Alloy 600 전열관 내면 보수용 와이어 송급 레이저 클래딩 장치 개발

The wire laser cladding system for repairing inner side of Alloy 600 tubes

한원진, 김우성, 이상철, 이선호, 조창열

두산중공업주

ABSTRACT Laser cladding technology was studied as a method for upgrading the present repair procedures of damaged tubes in a nuclear steam generator and Doosan subsequently developed and designed a new Laser Cladding Repair System. One of the important features of this newly developed Laser Cladding Repair System is that molten metal can be deposited on damaged tube surfaces using a laser beam and filler wire without the need to install sleeves inside the tube. Laser cladding qualification tests on the steam generator tube material, Alloy 600, were performed according to ASME Section IX.

1. 서 론

원전의 증기발생기 전열관은 원전 기기 중 1차측과 2차측의 압력경계를 이루는 기기로서, 결함이 발생하여 성장할 경우 방사성 물질이 함유되어 있는 1차측의 냉각수가 누설될 수 있다. 따라서 원전의 안전성에 큰 영향을 미치는 핵심 기기 중 하나로서, 전열관의 결함 보수는 원전에서 해결해야 할 중요한 문제로 취급되고 있다.

국내 원전 총 20기 중 절반 이상이 10년 이상 운전됨에 따라 다수의 전열관에서 결함들이 검출되고 있으며, 향후에도 계속해서 증가할 것으로 예상된다.

국내 원전 증기발생기 전열관 보수에 적용된 바 있는 수압확관 방식 관재생 보수기술은 전열관의 결함 발생 부위에 재생관을 설치한 후 정밀 수압확관하는 공정으로서 결함부위 밀봉효과가 떨어지며 재생관의 추가로 인한 증기발생기 효율이 감소할 수 있다. 또한 보수 후 재결함이 발생할 경우, 재 보수 공정의 적용이 불가능하다.

본 연구에서 개발한 와이어 송급 레이저 클래딩 보수 장치는 재생관을 사용하지 않고 결함 부위를 직접 보수 하기 때문에 수압확관식 보수 기술의 문제를 해결할 수 있다. 또한 레이저 빔을 열원으로 하므로 비교적 낮은 열응력으로 균열과 같은 결함을 leak-tight 하도록 보수 할 수 있다.

개발된 장치 및 공정은 건전성 시험을 거쳐 원전에 적용될 예정이다.

2. 레이저 클래딩 보수 장치

그림 1 은 개발된 원전 증기발생기 전열관 레이저 클래딩 보수 시스템의 전체 구성도이다. 전열관 레이저 클래딩 보수 시스템은 크게 레이저 빔 출력부, 각종 작업 공구 제어부, 전열관 내부 레이저 클래딩 작업 공구로 구성된다. 레이저 클래딩 작업공구 이외 클래딩 보수 전, 후 전열관 세척장치, 레이저 클래딩 후열처리 장치, 레이저 클래딩 부 UT 검사 장치가 있다. 모든 작업은 전용 로봇에 의해 수행된다.

연구 대상으로 선정한 증기발생기 전열관은 HTMA(High Temperature Mill Annealing) Alloy 600 으로서 외경이 19.05mm, 두께가 1.07mm 인 세관이다. 전열관 내부에서 레이저 클래딩을 위해서는 작은 직경의 전용 레이저 헤드의 개발이 필수적이다. 그림 2 는 개발된 레이저 헤드의 형상이다.

작은 직경의 전열관 내에서 와이어 레이저 클래딩을 위해서는 첫째, 직경이 작은 레이저 빔 스폿 내로 일정한 속도의 와이어가 정확히 송급되어야 한다. 둘째, 흡, 스페터에 의해 광학계가 손상되어서는 안된다. 셋째, 전열관 내면 둘레 전체를 보수하기 위해서는 일정한 속도로 360° 회전하면서 상하 이동이 가능하여야 한다. 개발된 장치는 이와 같은 사항을 고려하여 설계 제작되었다.

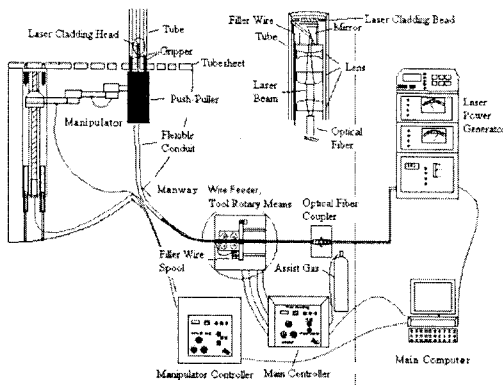


Fig.1 Laser cladding repair system for steam generator damaged tubes

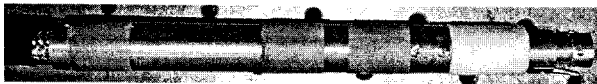
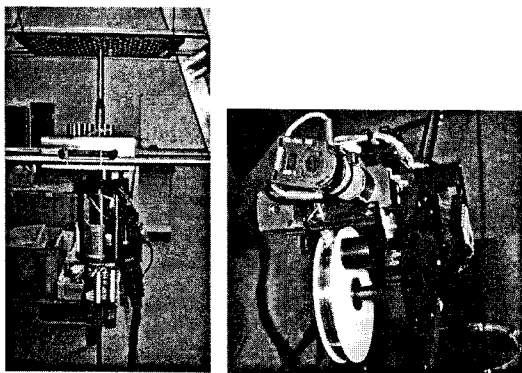


Fig.2 Laser cladding head

3. 전열관 레이저 클래딩 특성 시험

3.1 시험방법

그림.3은 전열관 내부 클래딩 특성 시험 장치이다. 전열관은 실제와 동일한 홀 크기를 가진 튜브시트 블록에 설치하였으며, 개발된 푸쉬풀러를 이용하여 삽입 및 상하 이송한다. 와이어의 송급은 그림.3(b)의 와이어 송급장치를 이용한다.



(a) Push-puller (b) Wire feeder

Fig.3 Test apparatus for laser cladding of inner tubes

시험에 사용된 전열관 소재는 HTMA Alloy 600 전열관이며 와이어는 AWS Spec. ERNiCr-4이다. 와이어의 직경은 $\phi 0.5\text{mm}$ 이다. 보호가스는 Ar, 유량은 25 l/min 이상을 사용하였다.

3.2 시험결과

그림.4는 1-pass 레이저 클래딩 시험 후 전열관의 가운데를 절단하고 비드를 관찰한 사진이다. 비드 형상 관찰 결과, 270V, 4ms, 20Hz, 속도 150mm/min 에서 와이어의 뭉침 현상 등의 결함이 발생하지 않은 양호한 비드를 관찰할 수 있었다. 그림.5는 1-pass 레이저 클래딩 시험 후 전열관을 축방향으로 절단하고 광학현미경으로 관찰한 결과이다. 모든 시험 조건에서 기공, 균열 등의 용접 결함은 관찰할 수 없었다. 매크로 조직 관찰 결과, 270V, 4ms, 20Hz 에서 최대 비드높이 0.3mm, 최대 용입깊이 0.4mm, 비드폭 2.0~2.3mm 을 얻을 수 있었다.



(a) 250V, 5ms, 15Hz (b) 270V, 4ms, 20Hz

Fig.4 Bead shapes of 1-pass laser cladding for inner tubes

그림.5는 1-pass 시험 조건을 이용하여 20pass 레이저 클래딩 시험한 결과이다. 레이저 클래딩의 폭은 약 50mm였으며 LOF (lack of fusion), 균열, 기공 등의 결함은 관찰할 수 없었다.

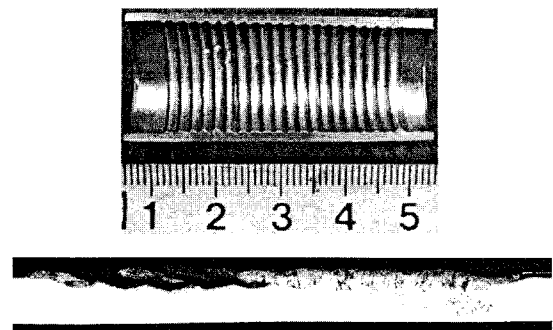


Fig.5 Bead shapes of multi-pass laser cladding for inner tubes

4. 결 론

- 1) 개발된 원전 증기발생기 전열관 레이저 클래딩 보수장치는 레이저 빔 출력부, 각종 작업 공구 제어부, 전열관 내부 레이저 클래딩 작업 공구로 구성된다. 레이저 클래딩 작업공구 이외 클래딩 보수 전, 후 전열관 세척장치, 레이저 클래딩 후열처리 장치, 레이저 클래딩 부 UT 검사 장치로 구성된다.
- 2) 전열관 내면 레이저 클래딩 헤드는 흡, 스페트 등에 의해 광학계를 손상 받지 않고, 레이저 빔 스폿에 정확히 와이어가 송급되며, 전열관 내면에서 360° 연속 회전이 가능하다.
- 3) 전열관 내면 레이저 클래딩 특성 시험 결과, 전열관 두께 40% 까지 용입이 가능하였으며, 20pass 연속 레이저 클래딩 시험 결과 약 50mm의 레이저 클래드폭을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Bala Nair, Steam generator replacement and repair technology continues to advance, April, 1997
2. Hisamoto F., et al: Laser cladding technology to small diameter pipes, Nuclear Engineering and Design 195, 2000, p.289