

레이저 피닝에 의한 금속재료의 잔류응력 측정

Residual stress measurement of laser peened metal

권성욱, 고광훈, 정진만, 임창환
 한국원자력연구소 양자광학기술개발부
 sokwon@kaeri.re.kr

레이저에 의한 금속재료 표면특성을 향상시키는 방법으로서 금속표면을 레이저로 용융시킨 후 금속구조를 변경시켜주어 부식특성을 향상시켜 주는 레이저표면개질 방법이 많이 사용되어 왔다. 레이저표면개질 후 금속표면은 레이저에 의해 용융과 응고의 과정을 거치게 됨으로서 인장성 잔류응력(tensile residual stress)을 받게 되어 금속표면에 결함(crack)과 부식(corrosion)이 쉽게 생기는 단점이 있다. 레이저 피닝(Laser Peening)은 금속표면을 재응고시키는 과정이 없이 금속의 기계적인 특성만을 변화시켜 주는 방법이로서 금속표면과 내부에 압축성 잔류응력(compressive residual stress)을 남기게 되어 부식은 물론 금속표면 결함이 진행되지 않도록 하여 준다.

물속에 잠겨있는 금속표면에 레이저빔을 조사하게 되면 금속표면에 큰 충격파($\sim 10^6$ psi)가 발생되고, 이 충격파는 금속내부로 진행하면서 수 mm 깊이의 금속 내부까지 소성변형을 준다 (그림 1). 이러한 소성변형에 의하여 금속 내부와 표면은 압축성 잔류응력을 유지하게 되며 부식과 결함에 대하여 우수한 특성을 가지게 된다.

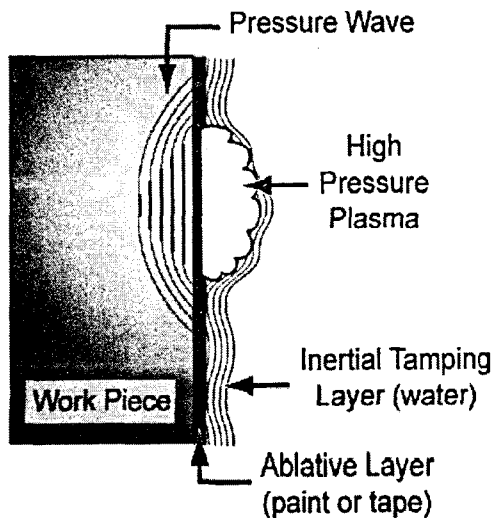


그림 1. 레이저 피닝 과정

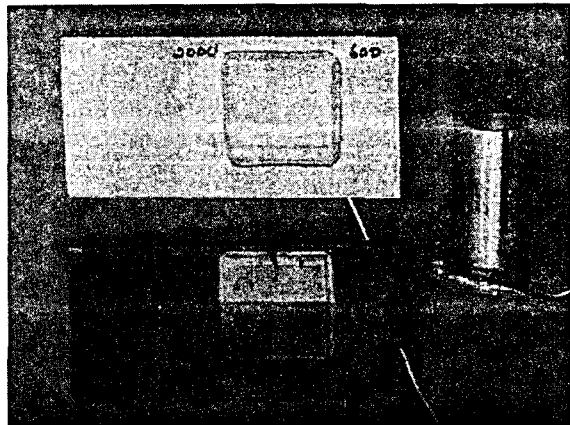


그림 2 레이저 peening 처리된 시편

금속 내부에 압축성의 잔류응력을 생성시키기 위해서는 GW급 이상의 레이저 출력이 사용된다. 두께 0.8mm의 STS316 시편을 준비하여 수조내에 고정시키고, $3\text{GW}\cdot\text{cm}^2$ 의 레이저빔이 15 X 30 mm 금속표면에 조사시켜 주었다. 금속에서의 잔류응력 변화를 측정하는 방법으로는 X-선 회절, 중성자 회절 등 잔류응력의 절대 값을 유추할 수 있는 것도 있으나, 이들 방법은 실험 완료 후 시편을 측정 장소로 이동해야 하고 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 실험실에서 실시간으로 응력 변화량을 측정하기 위하여 열처리된 SUS 316 시편과 Inconel 600 튜브 및 플레이트에 그림 2와 같이 strain 게이지를 부착하였다. 레이저 조사시간은 약 500 분 정도로 단위 면적당 레이저조사 수는 36회 정도로 조절하였다. 레이저 피닝 처리

이후에도 주위 조건 변화를 최소화 하기 위해 수조에서 strain 변화 값을 측정하였다. 시편에 조사된 레이저 조건은 에너지 150 mJ, spot 크기 1 mm 정도로 전년도 SUS 304 실험에 사용된 200 mJ, spot 크기 0.8 mm에 비해 에너지 밀도가 1/2 정도의 조건에서 실험을 수행하였다.

그림 3은 열처리된 SUS304 시편과 열처리를 하지 않은 inconel 600 시편의 peening 처리 시작부터 peening 이후의 strain 변화 값을 나타낸 결과이다. 같은 레이저 조사 조건에서 열처리를 하지 않은 inconel 600 시편이 열처리를 한 SUS304에 비해서 strain 변화 값이 크게 나타났다. 이는 inconel 600이 SUS304에 비해 작은 레이저 출력에도 민감하게 반응하는 것으로 해석할 수 있으며, 이 결과로부터 CRDM mock-up 용접부에 대한 레이저 피닝 처리 시 SUS304의 절반 정도의 에너지 입력 조건으로도 표면 잔류응력을 개선할 수 있음을 확인할 수 있었다.

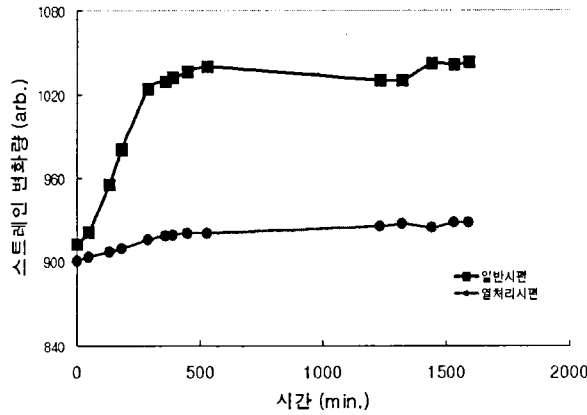


그림 3. Inconel 600시편과 열처리된 SUS316시편의 레이저 peening 후 strain 변화



그림 4. 레이저피닝 처리된 금속의 잔류응력 분포

레이저 피닝 처리된 시편은 hole drilling 방법으로 금속 내부의 잔류응력 분포를 측정하였다.

그림 4는 피닝 처리된 시편의 잔류응력 분포를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 금속 표면뿐만 아니라 수 백 micron 깊이의 금속내부까지 압축성 잔류응력 분포를 보여주는 것을 알 수 있다. 레이저 피닝 처리된 금속표면은 surface finish가 증가하는 경향을 보여주지만 부식특성은 피닝처리하지 않은 시편에 비하여 우수한 결과를 보여주었다.

[1] P. Peyre et al, Materials Science and Engineering A280 294-302 (2000)