

주철 보수 용접시 Hammer Peening에 의한 잔류응력 재분포에 관한 연구

A Study on the Redistribution of Residual Stress Induced by Hammer Peening after Cast Iron Welding

박윤기*, 김정규

현대중공업 (주), 기술개발본부 산업기술연구소

ABSTRACT The purpose of this study is to evaluate the effects of hammer peening on the redistribution of residual stress at the repair weldment of cast iron using FEA. The FEA results were verified by comparing with experimental results. The maximum residual stress at the repair weldment of cast iron sharply decreases by hammer peening. The effect of hammer peening on the residual stress increases with a decrease of working temperature of hammer peening.

1. 서 론

수축공(shrinkage)이나 주물사 혼입등과 같은 결함을 제거하기 위한 주철 보수 용접시 모재의 저온 균열 감수성(cold cracking susceptibility)이 매우 높기 때문에 세심한 주의가 요구된다. 일반적으로 저온 균열은 용접부의 확산성 수소, 경화능 그리고, 용접부의 구속 응력의 상호 작용에 기인한 것으로 알려져 있으며, AWS D11.2에서는 주철 보수 용접부의 균열방지를 위한 적정 예열 조건 및 열 영향부 경도 기준치를 규정하고 있을 뿐 아니라, 내부 구속이 큰 구조물의 경우 전체를 예열한 후 용접을 수행하도록 권고하고 있다[1]. 그러나, 노(furnace), 화염 그리고, 전기 pad를 이용하여 실 구조물 전체를 예열하기란 현실적으로 매우 어려우므로, 국부 예열과 hammer peening을 이용하여 확산성 수소와 구속 응력을 일정 수준 이하로 제어함으로써 균열을 방지하는 방안이 널리 적용되고 있다. 그러나, 이러한 보수 용접시 균열 제어 방안을 보다 효율적으로 적용하기 위해서는 hammer peening에 의한 잔류 응력의 제어 효과에 정량적인 평가가 매우 중요하다.

따라서, 본 연구에서는 유한 요소 해석을 이용하여 주철 보수 용접부의 저온 균열 방지를 위한 hammer peening의 적용 유무 및 작업 온도에 따른 잔류 응력 특성을 규명하고자 하였다.

2. 실험 및 해석 방법

주철 용접부의 hammer peening에 의한 잔류 응력 재 분포 특성 평가를 위한 유한 요소 해석 결과의 타당성을 규명하기 위하여 본 고에서는 200x400x30t의 FC 250 주판의 중앙부에 GTA 용접을 이용하여 약 50mm의 bead-on 용접 시편을 제작하고 hammer peening 전·후 잔류 응력 분포를 HDM(hole drilling method, ASTM E-837)을 이용하여 측정하였다. 이때, 사용된 시험편의 용접 조건 및 hammer peening시 사용된 tool의 사양 및 작업 조건은 각각 Table 1, 2와 같다. Fig. 1은 hammer peening 전후 용접부 비드 단면의 macro형상을 도시한 것이다.

Table 1 Welding conditions

Current [A]	Voltage [V]	Speed [mm/min.]	Preheating [°C]
160	21	150	150

Table 2 Specification of hammer peening tool

Tool Diameter [mm]	Tool Weight [kg]	Stroke [mm]	Frequency [Hz]
10	0.08	13	47

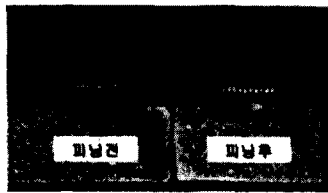


Fig. 1 Macro specimen of bead-on-plate before and after hammer peening

Hammer peening에 의한 잔류 응력의 재 분포 특성 평가를 위한 유한 요소 해석은 먼저, bead-on 용접부에서 hammer peening 작업 개시 온도까지 과도 열 전달 및 비선형 열 탄소성 해석을 수행하고, 작업 개시 온도에서 다단의 hammer peening에 의한 강제 변위가 용접부의 bead 상부에 작용하는 것으로 가정하였다. Hammer peening시 압입 깊이(Z)는 식(1)과 같이 渡邊吉弘등이 제안한 shot peening시 발생하는 압입 체적과 hammer peening에 의한 압입 체적이 동일하다고 가정하여 평가하였다.[2]

$$Z = R \sqrt{\frac{\rho v^2}{3\sigma_{YS}}} \quad (1)$$

여기서, R과 ρ는 각각 shot peening ball의 직경과 밀도이며, v와 σ_{YS}는 작업 온도에서의 모재의 항복 강도이다.

3. 실험 및 해석 결과

3.1 해석 기법의 타당성

Fig. 2는 200°C 예열이 적용된 As-welded 시편 용접부의 각 위치에서 최대(S1) 및 최소(S2) 주 응력 방향의 잔류 응력에 대한 측정 및 해석 결과를 도시한 것이다. Fig. 2와 같이 bead-on 용접부의 중앙에서 주 응력 방향의 잔류 응력은 HDM을 이용한 측정시 용접 bead 제거에 의한 잔류 응력의 재 분포 효과에 기인하여 해석 결과와 상당한 차이를 보이나, 용접 toe부에서의 잔류 응력 크기는 매우 유사함을 알 수 있다.

Fig. 3은 200°C로 예열 후 용접 및 hammer peening을 수행한 경우 용접 toe 부근에서의 최대 및 최소 주 응력 방향의 잔류 응력 분포에 대한 측정 및 해석 결과를 도시한 것이다. Fig. 3과

같이 peening에 의한 해석 및 측정 결과는 비교적 매우 잘 일치하고 있어 본 고에서 적용한 해석 기법이 타당함을 의미한다.

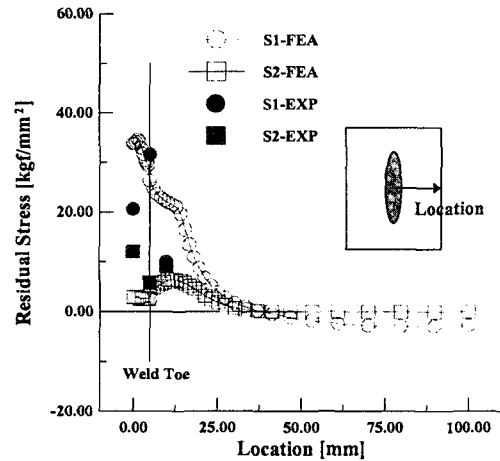


Fig. 2 Distributions of residual stress in the max. and the min. principal direction of bead-on weldment

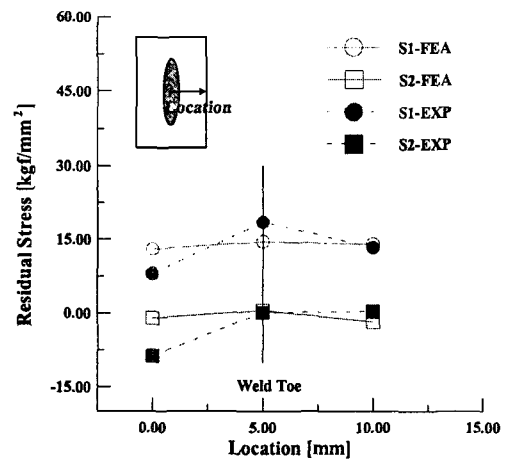


Fig. 3 Comparison results between residual stress obtained by both FEA and Exp.

3.2 Hammer peening 효과

실 구조물의 보수 용접시 hammer peening의 적용 유무 및 작업 온도에 따른 잔류 응력 분포 특성을 규명하기 위하여 본 연구에서는 구속도가 매우 큰 것으로 알려진 plug 용접부를 해석 모델로 선정하였다. 이때, 용접 조건과 hammer peening 조건은 Table 1, 2와 동일한 것으로 가정하였다.

Fig. 4는 200°C의 예열과 plug 용접을 수행한

경우 260°C에서 hammer peening의 적용 유무에 따라 용접부의 각 위치에서 최대 주 응력 방향의 잔류 응력 분포를 도시한 것이다. Fig. 4와 같이 hammer peening에 의하여 용접부의 잔류 응력은 급격히 감소함을 알 수 있다.

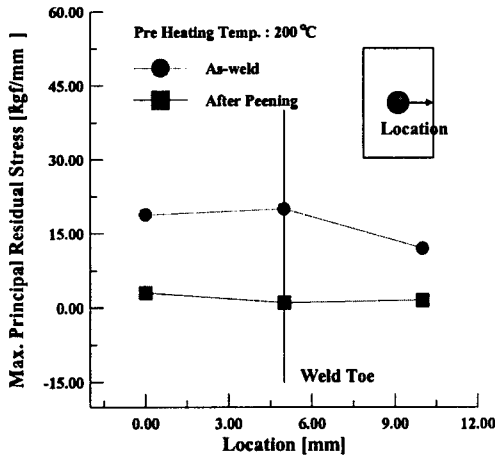


Fig. 4 Changes of the max. principal residual stress at the plug weldment with hammer peening (at 260°C)

Fig. 5는 Fig. 4의 동일 용접부에 대하여 hammer peening의 작업 온도에 따라 plug 용접 toe에서의 최대 주 응력 방향의 잔류 응력의 거동을 도시한 것이다. 여기서, "cooling 1"은 hammer peening 직전, "peening"은 hammer peening 직후 그리고, "cooling 2"는 용접부가 상온으로 냉각된 직후를 나타내며, peening 작업

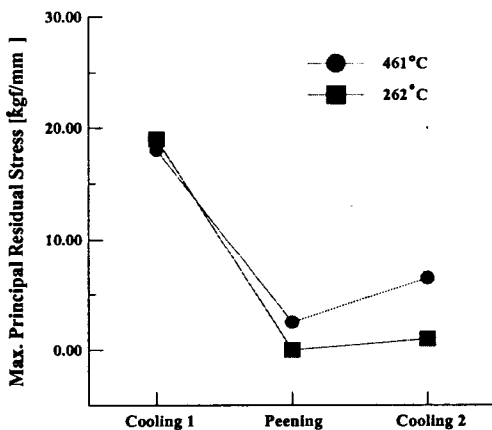


Fig. 5 Effects of working temperature of hammer peening on the residual stress at the plug weldment

시간은 일정한 것으로 가정하였다. Fig. 5와 같이 "peening" 단계에서 작업 온도가 증가함에 따라 용접 toe에서의 최대 주 응력 방향의 잔류 응력은 증가한다. 그리고, "cooling 2" 단계에서의 잔류 응력은 작업 온도와 관계없이 증가하는데 이는 용접부의 온도가 냉각함에 따라 가열부의 수축 하중의 증가에 기인한 것이다. 따라서, "peening"에서 "cooling 2"단계의 잔류 응력의 증가율은 작업 온도가 증가함에 따라 증가한다.

4. 결 론

주철 보수용접부의 균열 방지를 위한 hammer peening에 의한 잔류 응력 재 분포 특성을 유한 요소 해석을 이용하여 평가하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 주철 보수 용접부의 hammer peening시 압입 깊이에 따른 강제 변위를 이용한 유한 요소 해석 결과는 실험 결과와 비교적 잘 일치하였다.
- 2) 주철 보수 용접부의 잔류 응력은 hammer peening에 의하여 감소하며, hammer peening의 작업 온도가 감소함에 따라 잔류 응력 제거 효과는 증가한다.

참고문헌

1. AWS D11.2-89, "Guide for Welding Iron Castings", 1989
2. Y. F. Al-Obaid, "A Rudimentary analysis of Improving Fatigue Life of Metals by Shot-Peening", Journal of Applied Mechanics, Vol. 57, pp. 307-312, 1990