

주철 보수용접부의 잔류응력 분포에 관한 연구

A study on Residual Stress Distribution of a Repair Weldment of Casting

김현수*, 배상득, 박윤기
현대중공업(주) 기술개발본부 산업기술연구소

ABSTRACT In FE analysis for residual stress of a casting, contact force between mould and casting material and gravity force must be considered for exact simulation. Preheating of a repair weldment had a little effects on the reduction of residual stress. However, preheating with hammer peening had a great deal of effects on the reduction of residual stress. A method for estimation of fatigue life for a repair weldment has been established.

1. 서 론

대형 주물품은 주조 후 기계가공으로 제작하는데, 생산과정 중 기계가공으로 표면에 노출되는 수축공이나 균열과 같은 주조결함은 보수 용접으로 수정하고 있으나, 보수 용접부에 대하여 신뢰성, 예컨대 피로수명 문제에 대해서는 많은 논란이 되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 주철 보수 용접부에 대한 잔류응력 분포를 해석 및 측정을 통하여 평가하고자 하였으며, 회주철 보수 용접부 잔류 응력분포에 미치는 예열 및 Hammer Peening의 영향을 규명하고 잔류응력분포가 피로강도에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 응력해석

응력해석은 일차적으로 대형 주물에 대한 주조 잔류응력해석을 통하여 전체적인 잔류응력분포를 평가하였으며, 그 후 주철 보수 용접에 따른 잔류응력의 분포를 평가하였다.

Fig. 1에 해석모델을 나타내었다. 해석은 주조냉각에 따른 잔류응력분포 만을 고려하여 실시하였으며, 해석시 계산시간 단축을 위하여 물드는 모델링하지 않고 열대류계수로 고려하였으며, 보수용접에 따른 잔류응력 해석은 예열, 예열+Hammer Peening 및 Peening 만 실시하는 경우 용접부 잔류응력의 변화를 평가하였다.



Fig. 1 Shape of the analysis model for a casting

예열은 20℃ 및 100~500℃로 변화시켰으며, 예열을 실시하고 용접 냉각 과정 중 용착금속의 온도가 20, 100~500℃에 도달하면 Hammer Peening을 실시한 경우와 예열 없이 냉각 과정 중 용착금속의 온도가 20, 100~500℃에 도달하면 Hammer Peening 만을 실시한 경우에 대하여 해석을 실시하였다.

주철 FC-250 재료의 보수 용접 절차는 AWS D11.2-89에 따라 실시하였으며, 용접재로 ENiFe-CL EN을 사용하였다.

보수용접에 따른 예열, 예열+Hammer Peening 및 Peening에 따른 잔류응력의 영향을 평가하기 위하여 Fig. 2와 같이 비드 온 플레이트 용접시편을 제작하여 Hole Drilling Method를 사용하여 용착금속 센터, 토우, 및 모재에 대하여 잔류응력 측정을 실시하였다.

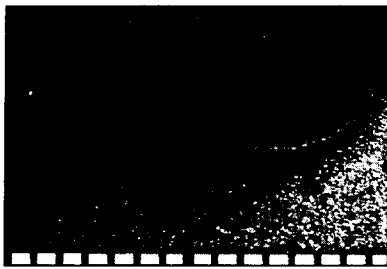


Fig. 2 Shape of repair welded bead

3. 해석 결과 및 고찰

연구대상의 주물은 96시간의 냉각 후 외부 1차 탈사를 실시하고 24시간 후 내부 2차 탈사, 72 시간 동안 공냉을 실시한다. 주조 후 온도분포 및 잔류응력 해석결과 Fig. 3에서 보는 바와 같이 1차 탈사시 최대 온도는 440℃, 2차 탈사시 25.9℃, 공냉후 21℃로 냉각되며, 최대 잔류응력은 상당응력 기준으로 145, 18.7, 21MPa가 작용하고 있다. 해석결과 값이 실제 계측 값보다 작은 값을 보이고 있는데 이는 해석시 몰드를 고려하지 않음에 따라 몰드와 주조 재료와의 접촉 및 자중에 따른 구속에 의한 추가 잔류응력의 발생을 고려하지 못하기 때문으로 판단된다.



Fig. 3 Temperature and residual stress distribution of a casting

보수 용접시 예열의 영향에 대한 해석결과 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 예열 온도가 증가함에 따라 냉각시간 및 용접 토우부 최고 온도는 증가하고 있으며, 잔류응력은 큰 변화를 보이고 있지 않다.

그러나 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 Hammer Peening과 예열을 동시에 적용하는 경우 용접

토우부에 수직하게 작용하는 응력이 크게 감소함을 알 수 있다.

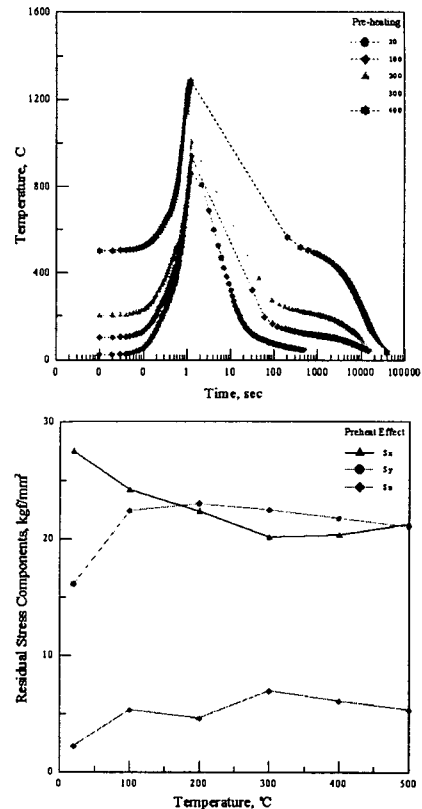


Fig. 4 Effect of preheating on residual stress of the repair weldment

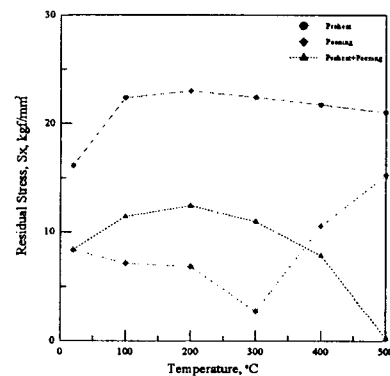


Fig. 5 Effect of preheating followed by peening on the residual stress distribution of the repair weldment

이러한 용접 잔류응력이 존재하는 경우 피로 강도는 용접 비드에 의한 응력집중이 작용하지 않는, 즉 탄성외력이 작용하는 경우에는 잔류응

력의 영향이 거의 없이 모재 수준의 피로강도를 보이고 있다. 그러나 응력집중에 의하여 토우부에 높은 응력이 작용하는 경우에는 문헌에 보고된 바와 같이 피로강도는 잔류응력의 이완거동에 의해 피로강도가 Fig. 6에 나타난 바와 같이 감소하게 된다.

참고문헌

1. H. O. Fuch and R. I. Stephens : Metal Fatigue in Engineering
2. ASM : Atlas of Fatigue Curve
3. F. V. Lawrence, J. D. Burk and J-Y Yung : Influence of Residual Stress on the Predicted Fatigue Life of Weldments

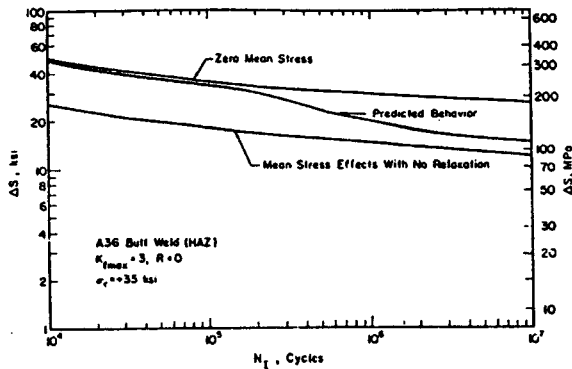


Fig. 6 Effect of residual stress on fatigue crack initiation life[2]

잔류응력은 하중 및 재료에 따라 다른 이완 거동을 보이며 식(1)을 이용하여 잔류응력의 이완을 고려할 수 있다.

$$\frac{\sigma_o}{\sigma_{os}} = (2N_f - 1)^k \quad (1)$$

$$\frac{\Delta \epsilon}{2} = \frac{(\sigma'_f - \sigma_m)(2N)^b}{E} + \epsilon'_f(2N)^c \quad (2)$$

4. 결 론

주조 잔류응력 해석시 몰드와 주조 재료와의 접촉 및 자중에 따른 구속을 고려하여야 하며, 보수 용접시 예열은 잔류응력의 이완에 큰 영향이 없으며, Peening과 같이 적용하는 경우 큰 효과를 볼 수 있으며, 이러한 용접 잔류응력을 고려한 피로수명의 평가가 가능하였다.