

충격하중에 의한 용접구조물의 강도 증가에 관한 연구
 (A Study on the strength improvement in weldment
 by the impact loading)

이천수*(전남대학교), 양영수(전남대학교)

Abstract

It is well known that during the oxygen cutting residual thermal stresses are produced in weldment. Surface compressive residual stress is one of reasons for improvement on fatigue durability. To reduce the residual stress and improve the fatigue strength applied the impact loading in oxygen cutting frame. After applying the impact loading, redistribution of residual stress was measured by cutting method and tested fatigue tests.

1. 서론

용접구조물은 용접중에 국부적인 곳에 집중적으로 열이 가해짐으로서 불균일한 온도분포를 갖게되며 이로인하여 열 응력이 발생하게 된다. 따라서 용접후에는 비선형 소성변형으로 인한 잔류응력이 존재하게 된다. 이러한 잔류응력은 구조물의 변형과 파괴강도에 심각한 영향을 미치게 된다. 또한 용접 중심부의 인장잔류응력은 균열 전파력을 증가시키며 취성파괴에 대한 구조물의 저항력을 감소시켜 용접구조물의 파괴거동에 크게 영향을 미치게 된다. 그러므로 이러한 용접중의 열전도에 의한 온도변화와 용접잔류응력의 예측 및 잔류응력이 파괴거동에 미치는 영향 등을 정확히 파악하는 것은 용접구조물의 안전성과 적합성, 내구성 등의 예측에 매우 중요하다.^{(1) (3)}

본 연구에서는 SAE 1027 재료에 대하여 산소절단후 용접부에 대한 잔류응력의 크기 및 이를 해소하기 위한 방법의 일환으로 해머링을 실시하여 잔류응력의 감소효과 및 피로시험을 실시하여 구조물에 미치는 영향 등을 수행하였다.

2. 실험

2.1 시편의 제작

본 실험에서는 산소절단과 같은 용접구조물의 강도증가에 관한 영향을 파악하기 위하여 다음과 같은 세가지 방법에 의하여 시편을 제작하였다.

- 1) 산소절단
- 2) 산소절단후 그라인딩 실시(그라인딩 깊이는 약 1.3mm)
- 3)고 1.75kgf 중량의 해머로 절단면 전체에 걸쳐 해 그라인딩을 실시한 면에 $\phi 18\text{mm}$ 인 환봉을 대머링을 600회 실시하였다.

시편의 형상 및 치수는 그림1과 같다. 또한 시편 제작에 사용된 재료는 트럭에 적용중인 프레임용 선정하였으며, 기계적성질 및 화학성분은 표1과 표2에 나타나 있다.

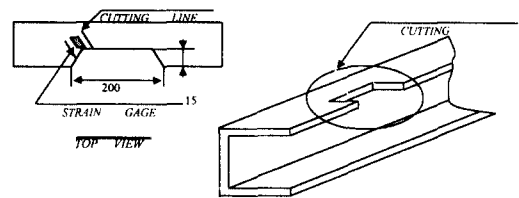


Fig. 1. Shape and dimension of oxygen cutting frame

Table 2. Chemical composition of materials

재료 \ 화학성분	C	Mn	P	S
Modified SAE 1027	0.29	1.25	0.005	0.02

Table 2. Mechanical properties of materials

물성치 재료	Tensile Stress (kg/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (BHN)
Modified SAE 1027	99.7	18.0	303

2.2 잔류응력 측정

잔류응력이란 기계구조물이나 재료가 주위환경과 열적 평형상태에 있으면서 외부 하중에 의한 영향없이 내재되어 감금된 응력을 말하며, 부품의 제조, 가공과정에서 빈번히 발생한다. 이러한 잔류응력은 외부하중이 작용방향과 부호가 일치하면 해롭고, 반대이면 이로운 영향을 준다. 일반적으로 압축잔류응력의 경우 피로수명을 증대시키므로 큰 하중을 받는 기계구조물에 샷피닝, 해머피닝, 스트레인 피닝등을 실시하여 압축잔류응력을 주고 있다.

잔류응력을 측정하기 위한 방법으로는 Hole Drilling 법, X-선 회절법, 절단법, 취성재료 도포법, 초음파법, 자기장 측정법등이 있으며, 가장 널리 사용되고 있는 방법은 절단법과 Hole Drilling 법, X-선 회절법이다.

절단법은 잔류응력을 측정하고자하는 부위에 스트레인 게이지를 붙인 다음 게이지 부착부와 근접한 위치까지 절단하여 이때 이완되는 스트레인을 측정하는 방법으로 톱을 이용하여 절단해야 하는 번거로움이 있으나 가장 쉽게 측정할 수 있는 장점이 있다.

2.2.1 스트레인 게이지 부착 및 절단

산소절단을 실시한 용접구조물의 표면에 생성되어 있는 잔류응력의 분포형태를 관찰하기 위하여 스트레인의 구배를 측정할 수 있는 Strip gage를 사용하였으며, 스트레인게이지와 측정용 장비는 표 3과 같고, 부착위치는 그림1과 같다. 잔류응력을 측정하기 위하여 절단시 톱은 일반 쇠톱을 사용하였고 절단시 발생하는 열을 충분히 발산하기 위하여 서서히 절단하였으며, 절단위치는 스트레인 게이지에서 5~10mm의 거리를 두고 절단하였다.

Table 3. Specification of Strain gage

구분	형식	제작국	비고
계측기	UPM-60	독일	-
스트레인 게이지	KFG-2-120- C1-11	일본	게이지 간격:2mm
	KFG-1-120- D19-11N10C2	일본	게이지 간격:2mm
	EA-045PG-1 20	미국	게이지 간격:2.41mm

2.2.2 잔류응력 측정

잔류응력의 측정은 쇠톱으로 그림1과 같이 절단선을 따라 절단하면서 측정한다. 이때 게이지 부착부 주위의 응력이 스트레인값으로 이완되면서 응력이 해방되고 이때의 값을 UPM-60으로 계측하였다. 이때 측정된 스트레인은 다음식에 의해서 계산 하였다.

$$\sigma = E \epsilon \quad \text{---- (1)}$$

여기서 σ 는 잔류응력(kg/mm²), E는 재료의 탄성계수(21,000kg/mm²) 그리고 ϵ 은 측정된 스트레인값이다.

2.3 피로시험

2.3.1 시험편의 형상

용접구조물의 작업조건에 따른 시편의 피로한도를 측정하기 위하여 그림2와 같이 원소재, 산소절단, 산소절단후 그라인딩 그리고 산소절단후 그라인딩 및 해머링을 실시한 4종류의 피로시편을 ASTM E 466에 따라 각각 10개씩 제작하였다.

피로시험을 실시하기 위한 조건은 주파수 10Hz, 응력비(R)는 0이며, 정형파이다. 시험기기는 INSTRON 사의 10톤 피로시험기를 이용하였다.

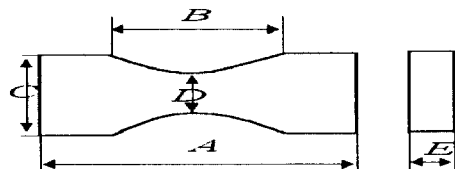


Fig. 2 Shape of fatigue specimen

3. 결과 및 고찰

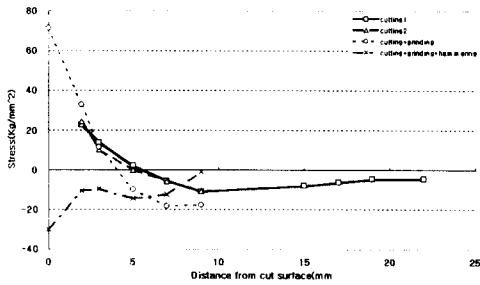


Fig. 3. Distribution of residual stress in weldment

용접구조물은 용접중에 국부적인 곳에 집중적으로 열이 가해짐으로서 불균일한 온도분포를 갖게되며 이로 인하여 열 응력이 발생하게 된다. 그림3에서 알 수 있듯이 산소절단한 시편인 경우 항복응력에 가까운 최고 70kg/mm² 정도의 인장잔류응력이 관찰되었으며, 용접구조물에 대한 강도증가의 효과를 얻기 과약하기 위하여 실시한 그라인딩 및 해머링을 실시한 경우를 관찰하여 보면 최고 30kg/mm² 정도의 압축 잔류응력이 표면으로부터 9mm 정도의 까지 관찰 되었다.

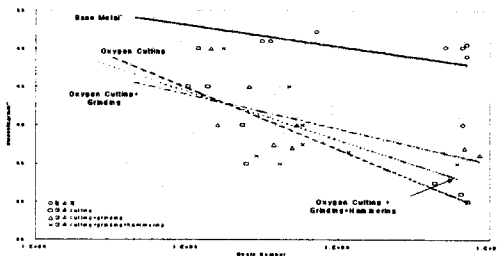


Fig. 4 S-N Curve of specimen

각각의 용접구조물에 대하여 피로시험을 실시한 결과 그림 4에 알 수 있듯이 산소절단후 아무런 후열처리를 하지 않은 시편인 경우 피로한도는 31정도 나타났으며, 피로강도 증가를 위하여 실시한 그라인딩 및 해머링된 시편인 경우 피로한도가 35kg/mm²으로 증가효과를 나타내었다.

이와같은 세부원인을 분석하기 위하여 피로파면을 관찰하였는데 파면은 전반적으로 80% 정도

가 피로진행에 의한 것이며, 20%정도는 최종 급속파단 양상을 나타내었다. 또한 피로파면에서는 기점부터 피로에 의한 Striation 이 관찰되며, 피로가 진행됨에 따라 단면의 감소로 Striation의 간격이 증가되고, 최종파단부에서는 소성변형을 수반한 Dimple 이 관찰되었다.(그림5)

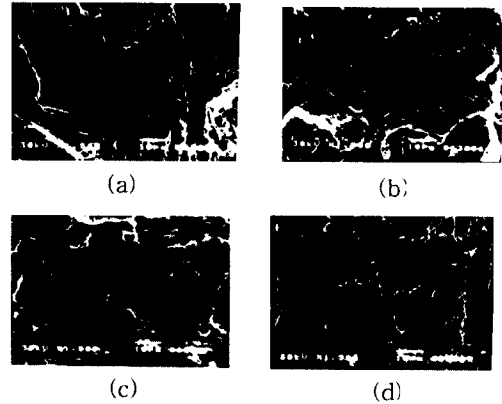


Fig. 5 Photograph of SEM During the Fatigue crack growth(a:initial crack region, b,c : crack propagation region, d: final crack region)

산소절단의 경우는 산소절단시 열영향으로 표면에 형성된 마르텐사이트 조직때문에 표면으로부터 0.5mm 까지는 원소재 비하여 경도가 HV100정도 상승하였으며, 그라인딩 및 그라인딩 후 해머링을 실시한 경우는 열영향부가 제거되어 원소재와 유사한 경도가 측정되었다.(그림6)

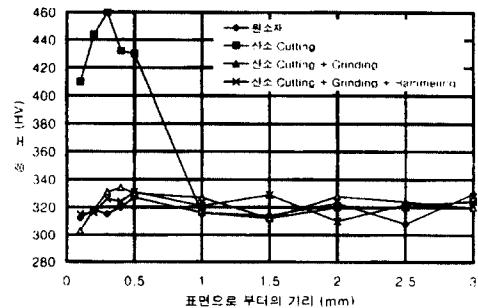


Fig. 6 Graph of Hardness Distribution at each Specimen

4. 결론

잔류응력을 측정된 결과 산소절단부를 중심으로 크게 형성된 인장잔류응력은 충격하중을 실시한 결과 표면으로 부터 최대 8mm 정도까지 30kg/mm² 정도의 압축잔류응력을 얻어 구조물에 대한 피로강도의 증가효과를 나타내었다.

원소재 대비 산소 절단의 피로한도는 40% 정도 낮게 측정되었으며, 용접구조물의 강도증가를 위하여 실시한 그라인딩 및 충격하중을 주었을 경우 피로한도가 35kg/mm²로 증가 효과를 나타내었다.

참고문헌

- [1] 심용래, 유한요소법을 이용한 용접부의 잔류응력, 변형및 파괴해석, 대한용접학회지 제15권 제1호, 1997년 2월, pp15~25.
- [2] Y.F.Al-Obaid, Shot peening mechanics : experimental and theoretical analysis, mechanics of materials, 1995, pp251-260
- [3] Y.F.Al-Obaid, A Rudimentary analysis of improving fatigue life of metal by shot-peening, Journal of applied mechanics , june 1990, vol. 57, pp 307~312