

강판용접에서 탄소당량이 잔류응력 분포에 미치는 영향에 관한 연구

양영수, 이민정 (전남대학교 기계공학과)

1. 서론

아크를 이용하여 공작물에 열을 가하면 국부적인 가열에 의해 불균일한 온도분포를 갖게되어 모재에 열응력이 발생한다. 모재가 열을 받으면 항복응력이 저하하기 때문에 발생한 열응력은 항복응력을 초과하여 소성변형을 이시키고 냉각, 수축후 최후에 재료내부에 잔류응력을 생성시켜 균열 발생, 피로강도 저하 등 많은 문제점을 야기시킨다. 위와 같은 현상은 용접공정에서 일반적으로 나타나는 현상으로 많은 연구가 되어왔다 [1,2]. 특히 고강도 강이나 후판용접에서는 열변형에 저항할 수 있는 강도가 크기 때문에 열변형이 적고 큰 잔류응력이 발생한다.

탄소강의 용접시 나타나는 열 및 잔류응력의 분포는 일반적으로 Fig.1과 같은 형태를 갖는 것으로 알려져있다. 즉, 용접부 잔류응력 분포는 용접비드 부분에서 인장잔류응력이 작용하고, 용접부에서 떨어진 부분에서는 압축잔류응력이 작용된다. 그러나 AISI 4130 같은 탄소당량이 높은 강에서는 Fig.2와 같이 용접비드 부분에서 압축잔류응력이 나타난다 [3]. 이것은 용접시 발생한 열응력이 단순히 온도 구배만이 아니고 또 다른 영향이 있음을 나타낸다.

용접부에서 압축응력이 나타나는 원인은 용접시 급냉에 의하여 오스테나이트 조직이 퍼얼나이트로 변화하지 못하고 마르텐사이트를 생성하였기 때문으로 사료된다. 마르텐사이트 생성은 냉각속도 뿐만아니라 탄소량에도 관계된다. 특히, 고탄소강에서 마르텐사이트 생성이 쉬우므로 이러한 현상이 잘 나타난다. 그러므로 본 연구에서는 탄소량의 차이가 용접부 잔류응력 분포에 어떠한 영향을 미치는가에 대해서 연구하였다.

2. 본론

2-1) 유한요소 수식화

수치해석 방법인 유한요소법을 사용하여 해석하였다. 유한요소 프로그램은 직접 작성하여 사용하였고, 유한요소 수식화 과정은 참고문헌 [4]에 상세히 열거되어 있다.

2-2) 마르텐사이트 부피팽창 모델

마르텐사이트의 팽창량은 변형율로 환산하여 계산시 열변형율(thermal strain) 값을 변화시켜 고려하였다. 탄소함량은 IIW에서 규정한 탄소당량을 사용하였다[5].

$$CE(\%) = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15 \quad \text{----- (1)}$$

마르텐사이트 팽창시 부피팽창량은 탄소량의 차이에 따라 격자상수 값이 다르게 나타난다 [6].

$$a = 2.861 - 0.013 \times CE(\%) \quad \text{----- (2)}$$

$$c = 2.861 + 0.116 \times CE(\%) \quad \text{----- (3)}$$

부피팽창에 의한 변형율 변화는 다음과 같이 가정하였다.

$$\left(\frac{\Delta V}{V}\right)_{martensite} = \frac{(a^2c - a^3)/a^3}{a^3} = (c/a - 1) \quad \text{----- (4)}$$

$$\left(\frac{\Delta V}{V}\right)_{thermal} = \frac{(3l^2 \Delta l)/l^3}{l^3} = 3\varepsilon \quad \text{----- (5)}$$

식(4)(5)에서 부피변화가 같다고 가정하면

$$\varepsilon = (c/a-1)/3 \quad \text{-----} \quad (6)$$

2-3) 실험재료 및 용접조건

시편은 고강도 강인 두께 3mm AISI 4130 강을 사용하였다. 용접조건은 전류 100A, 전압 12V, 용접속도 2 mm/s, GTAW bead-on-plate 을 사용하였으며 계산시 효율은 60% 하였다. 잔류응력 측정은 hole drilling method을 사용하였다.

Materials	Chemical compositions (wt %)				Carbon equivalent	c/a	ε (full martensite)
	C	Mn	Cr	Mo			
AISI 4130	0.3	0.5	1.0	0.2	0.62	1.028	9.3×10^{-3}

3.결과

Figure 3은 용융부 표면에서 시간에 따른 온도변화를 나타낸것으로 CCT 곡선과 일치시켜보면 미세조직을 알 수 있을 것이다. Figure 4는 용융부 및 열영향부에서 냉각시 마르텐사이트 생성량에 따른 응력분포이다. 주요한 관심대상인 용융부에서 마르텐사이트 생성량이 50%정도 일때 실험값과 잘 일치되고 있다. 마르텐사이트가 생성되지않은(0%의 마르텐사이트) 경우는 잔류응력의 분포가 온도분포에 의해서만 결정되므로 용접부에서 인장잔류응력과 떨어진 곳에서 압축잔류응력이 나타난다. 또한 용융부 및 열영향부에서 상변태가 일어날때 모두 마르텐사이트(100%마르텐사이트) 변화로 가정하면 용접부에서 압축응력이 크게 나타나고, 열영향부를 벗어나면 인장잔류응력, 떨어지면 다시 압축잔류응력이 나타난다.

위의 결과에서 알 수 있듯이 탄소강의 용접시에, 용접부에서 인장잔류응력, 용접부에서 떨어진 모재에서는 압축잔류응력인 잔류응력 분포를 갖지 않을 수 있음을 보여주고있다. 그러므로 잔류응력 해석시에는 탄소당량과 냉각속도를 고려하여 어떠한 형태의 상변태가 일어날것인가를 예측한후 마르텐사이트가 생성될때는 상변태에 의한 팽창효과를 고려해야한다.

4.참고문헌

- 1) B.A.B Andersson, "Thermal stresses in submerged arc welded joint consider phase transformations", J. of Eng. Mat. and Tech., Trans. of the ASME, Vol.100, 1978, pp.356-362
- 2) V.J. Ppazoglou and K.Massubuchi, "Numerical analysis of thermal stresses during welding including phase transformation effects", J. of Pressure Vessel Tech., Trans. of the ASME, Vol.104, 1982, pp.198-203
- 3) 양영수, 나석주, 김원훈, 조원만, "AISI 4130 강의 용접잔류응력에 미치는 열처리의 영향", 대한용접학회, 제15권, 6호, 1991, pp.1982-1989
- 4) 양영수, 아크 및 레이저 빔을 이용한 열가공 공정에서 잔류응력에 관한 연구, 한국과학기술원 박사학위논문, 19991
- 5) Encyclopedia of Materials and Engineering, Pergamon Press, Vol.7, p.5322
- 6) Physical Metallurgy Principles, Robert E. Read-Hill, 2nd Ed., D.Van Nostrand company, pp.721-730

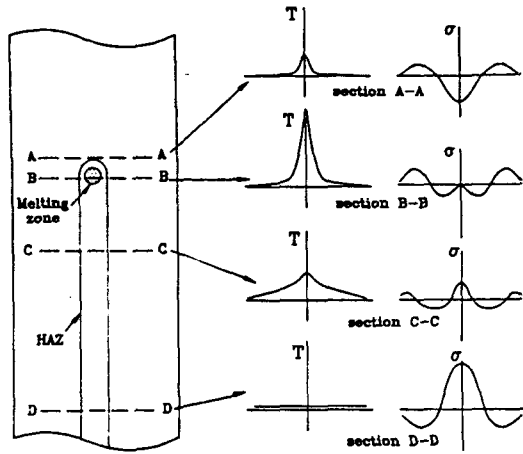


Fig.1 Schematic representation of changes of temperature and stress during welding

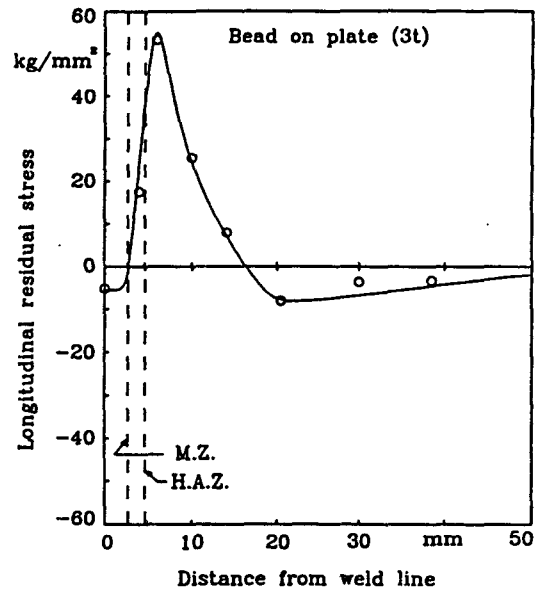


Fig.2 Experimental residual stress on upper surface of 3mm thickness AISI 4130 (bead-on-plate welding)

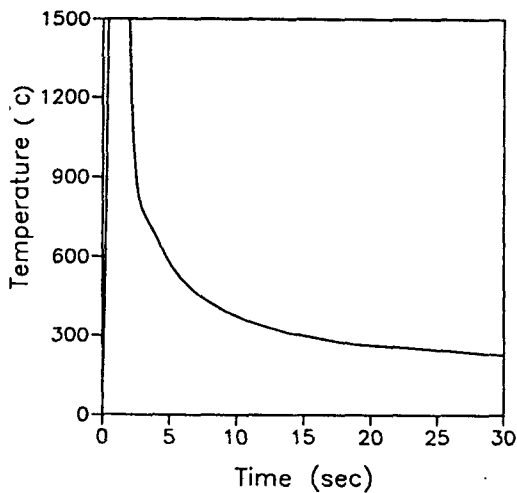


Fig.3 Temperature history at centerline on top surface

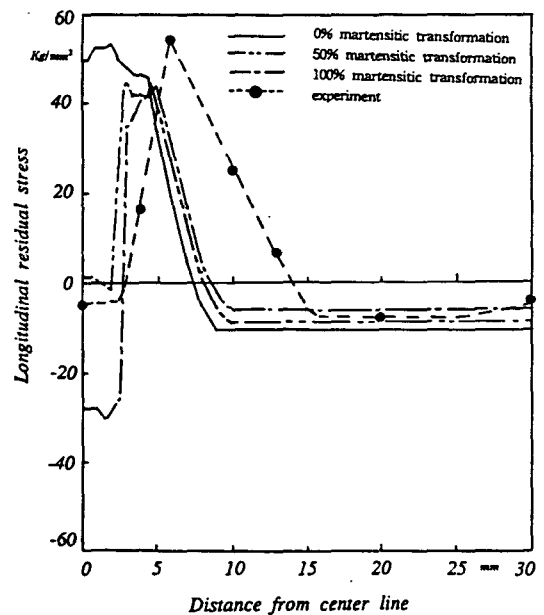


Fig.4 Experimental and calculated longitudinal residual stresses on top surface