

80kg/mm²급 고강도강의 Flash Butt 용접특성

Flash Butt Weldability of 80kg/mm² Grade High Strength Steel

김영섭, 강문진

포항산업과학연구원 설비·용접연구팀

1. 서론

자동차 경량화 추세에 따라 자동차용 냉연소재의 고강도화가 요구되고 있으며, 특히 자동차범퍼에는 안정성 향상을 목적으로 고강도/고가공성 냉연소재의 적용이 증가하고 있다. 이와 같은 냉연소재는 강도 향상과 더불어 성형성이 뛰어나야 하며, 범퍼용 소재인 경우에는 충격에너지 흡수성이 우수하여야 한다. 이러한 고강도강을 개발하기 위해서는 Si, Mn 등의 성분계 조절이 필요하며, 냉연소재를 생산할 때 연속작업을 위하여 flash butt 용접이 적용되고 있다. Flash butt 용접은 저항용접의 한 방법으로 두 용접면이 접촉하였을 때 순간 저항발열에 의하여 flashing으로 용융금속과 산화물을 비산시키면서 접합계면을 가열하며, 적당히 가열된 상태에서 매우 빠른 속도로 upsetting하여 산화개재물이 포함되어 있는 용융층을 방출시키며 접합하게 된다. 이 용접법의 장점은:1)용접속도가 빠르고, 2)용접면을 별도로 청결하게 준비할 필요가 없으며, 3)우수한 용접강도를 확보할 수 있고, 4)고상접합이라고 할 수 있다. 따라서 여러분야에 적용되고 있으며, 특히 제철소의 산세/압연공정, 자동차 wheel rim의 생산, rail의 접합 등에 적용되고 있다. 그러나 flash butt 용접에서는 Si, Mn과 같은 원소들이 쉽게 산화물을 형성하여 용접부에 결합으로 작용하기 때문에 많은 문제를 일으키게 된다. 따라서 소재의 성분조절(Mn, Si) 뿐만 아니라 적절한 용접변수의 적용으로 이러한 결합발생을 억제시킬 필요가 있다. 본 연구에서는 자동차범퍼용으로 개발하게 되는 고가공성 80kg/mm²급 소재의 flash butt 용접성에 화학조성이 미치는 영향을 파악하였다. 따라서 flash butt 용접에 대한 문제점을 해결하여 이 소재를 원활하게 생산할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 실험방법

본 연구에서 사용한 소재의 대표적인 화학조성은 Table 1과 같으며, 탄소당량이 0.383~0.615의 범위에 있고 Mn/Si의 비가 0.69~6.48인 다양한 성분계를 사용하였다. 각 소재는 진공용해하여 제조한 50kg ingot를 열간압연하여 두께 2.7mm와 3.6mm로 만들어 시험하였다. Flash butt 용접부에 대한 경도와 산화물 분포, 그리고 열영향부 조직을 파악하기 위한 열싸이클재현시험은 Gleeble을 이용하여 실시하였다. Flash butt 용접시험은 자체 제작한 simulator를 이용하였으며, 기본적인 용접변수는 1차전압, 전극간격, Flashing거리, Upset 거리로 하였다. 용접부는 조직관찰, 경도분포, 그리고 인장시험과 굴곡시험으로 평가하였으며, 파단면에 대한 산화물의 분포는 EPMA를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 용접부의 산화개재물

Flash butt 용접부의 결합중에서 산화개재물이 가장 많이 나타나는 현상으로 강중에 존재하는 탈산원소인 Si, Mn, Al 등의 복합산화물이 그 근원으로 알려져 있다. 이러한 첨가원소는 산소와의 결합력이 강하여 산화물의 자유에너지가 다른 원소에 비하여 상대적으로 낮다.

Gleeble을 이용한 모사시험결과 접합계면에서의 산화물 분포가 Mn/Si의 비에 따라서 다르게 나타나고 있음을 알 수가 있다(Figure 1). 한편 이와 같은 산화물의 분포가 upset거리에 따라 차이를 보여주고 있다. 이 결과에 의하면 Mn/Si의 비가 4~5 이상에서는 매우 청정한 접합계면을 얻을 수가 있다.

3.2 용접부의 조직

대표적인 용접부의 macro 조직은 Figure 2에서 보여주고 있다. Metal flow 관찰에 의하면 upset이 양호하게 되었으며, 용접부에는 탈탄층인 white band가 형성되어 있다. 이러한 탈탄층은 가열과정(flashing)에서 모재의 탄소가 용융층으로 확산하여 있다가 가압시(upsetting) 외부로 방출되고 상대적으로 탄소가 고갈된 모재가 접합계면을 형성하기 때문이다. 따라서 이 부분은 ferrite의 비율이 높고 Figure 3과 같이 경도가 상대적으로 낮게 나타나고 있다.

용접 중심부는 martensite조직이 나타나고 있으며, 중심부로 멀어질수록 결정립이 미세하게 되고 있다. 열영향부 경계면에서는 bainite조직을 관찰할 수가 있다. 열영향부에 있어서 최고 경도는 소재의 탄소당량과 관계가 있으며, 이 경우 $Hv=776C_{eq}-47.5$ 와 같은 실험식을 구할 수가 있었다.

3.3 용접강도

용접부의 강도는 인장시험과 굽힘시험으로 비교하였다. 인장시험 결과 대부분 용접부에서 파단이 일어났으며, 굽힘시험인 경우에도 모두 용접부에서 균열이 발생하였다. 소재의 탄소당량에 따라서 인장강도가 감소하는 경향을 보여주었으며, 항복강도 역시 감소하였다. 그러나 연신율의 변화는 탄소당량과 무관하게 나타나고 있었다. 굽힘시험 결과 용접부의 균열길이를 소재의 Mn/Si 비와 비교하여 보았다(Figure 4). Mn/Si의 비가 증가함에 따라서 균열의 가능성이 낮아지는 경향을 보여주고 있다. 이것은 Figure 1의 결과와 비슷한 경향을 나타내고 있으며, 용접부의 균열에 Mn/Si의 비가 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

Flash butt 용접열영향부의 최고경도는 소재의 탄소당량과 밀접한 관계를 보여주고 있으며, $Hv=776C_{eq}-47.5$ 와 같은 실험식으로 나타낼 수가 있다. Flash butt 용접부의 산화물 분포와 굽힘시험에 의한 균열 발생을 소재의 Mn/Si 비와 비교하였을 때 그 비가 4~5 이상일 때 산화물의 분포가 낮고 상대적으로 청정한 용접부를 얻을 수가 있다. 한편 소재의 탄소당량은 용접부의 강도에 약간의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

참고문헌

- 1)Ando, K, Nakada, S, and Fukui, I(1971):J. of the Jpn Welding Soc., V.40, No.2, p.137.
- 2)Ichiyama, Y, Saito, T, and Nishi, T(1983):Testu-to-Hagane, V.69, No.5, p.s649.
- 3)Metals Handbook(9th ed.), V.6, ASM International, p.557.

Table 1. Chemical compositions of steels

C	Si	Mn	P	S	Al	Mn/Si	Ceq
0.144	0.476	2.42	0.010	0.010	0.040	5.08	0.567
0.141	0.945	2.10	0.012	0.011	0.038	2.22	0.53
0.143	1.430	1.79	0.012	0.011	0.033	1.25	0.501

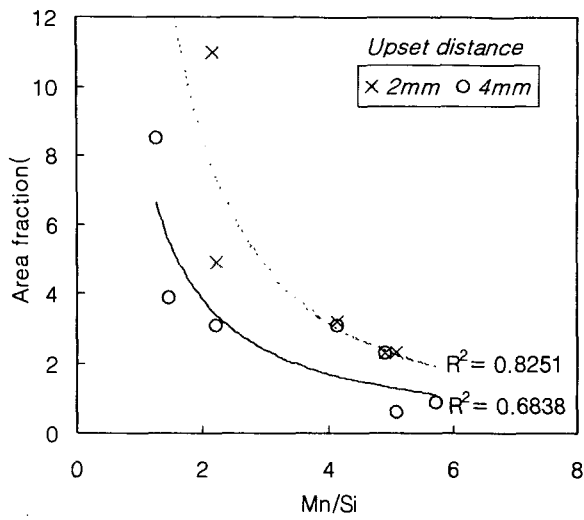


Figure 1. Variations of area fraction of oxide inclusions at butt weldment with respect to Mn/Si.

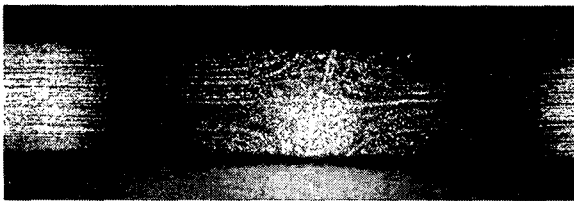


Figure 2. Typical macrostructure of flash butt weldment(x25).

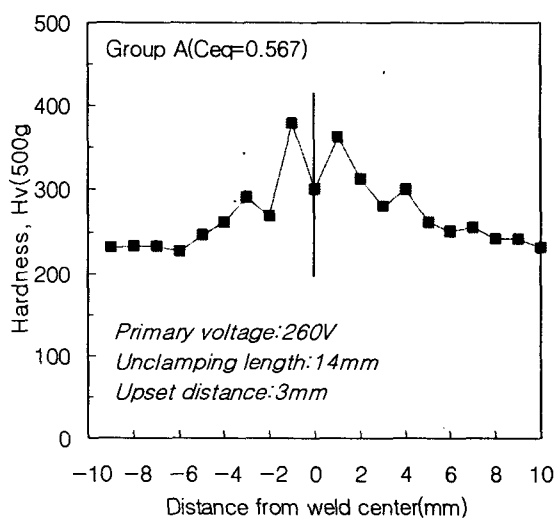


Figure 3. Typical hardness distribution of flash butt weldment.

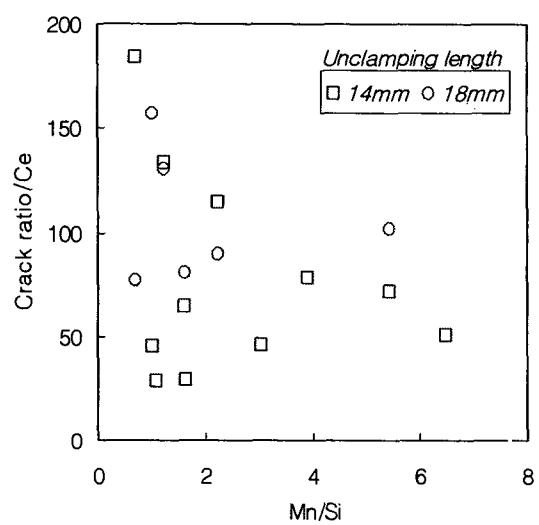


Figure 4. Changes in crack ratio at flash butt weldment with Mn/Si.