

자동차 wheel용 열연고장력강의 DC butt용접성에 미치는 화학조성의 영향

Effect of chemical composition on the DC butt weldability of hot rolled high strength steel

김영섭, 강문진

포항산업과학연구원 접합가공연구팀, 경북 포항시

1. 서론

자동차 wheel rim을 제조할 때 flash butt 용접을 가장 많이 이용하고 있지만 근래에 와서는 upset 용접의 이용이 점점 늘어나고 있는 추세이다. Upset 용접에서는 주로 직류 전원을 사용하므로 DC butt 용접이라고 한다. 일반적으로 DC butt 용접은 가열과 upsetting의 두단계로 이루어져 있다. DC butt 용접의 과정을 보면, 우선 접합할 rim의 양쪽 모서리가 용접기의 2차축 전원에 연결되어 있는 전극에 물리게 된다. 이 모서리들은 일정한 압력으로 서로 밀착되며 용접전류가 접촉한 면을 통과하여 Joule열을 발생시킨다. 이 Joule 열에 의하여 접촉한 부분이 충분히 가열되었을 때 소재의 강도가 하락하므로 일정한 압력으로 밀착되어 있는 모서리부분은 붕괴되어 용접이 이루어진다.

DC butt 용접에서 가열은 flash butt 용접의 burnoff 단계와 일치하지만 flashing없이 Joule열을 이용한다. 이와같이 flashing이 없는 가열방법이 DC butt 용접의 장점이며 공정자체가 훨씬 짧은 시간(~0.5sec)에 이루어지므로 flash butt 용접과 비교할 때 그만큼 생산성이 높다고 할 수 있다.

DC butt 용접의 단점이라면 flash butt 용접보다 접촉할 모서리의 가공상태가 더욱 정밀하여 접촉 모서리의 정렬을 정확하게 하여야 된다는 것이다. 따라서 전단기등과 같은 용접기 주변설비는 항상 주의를 기울여 더욱 정밀제어할 수 있어야 한다.

일반적으로 자동차 wheel의 제조에서 문제가 되는 것은 용접후 가공단계에서 많은 변형을 받으므로 그에 따른 용접부의 균열현상이다. 이러한 균열은 flash butt 용접 뿐만 아니라 DC butt 용접에서도 관찰이 되고 있지만 DC butt 용접에서는 flash butt 용접의 penetrator 균열과 같은 심각한 문제가 발생하지는 않는다. 그렇지만 용접시간이 매우 짧기 때문에 냉접(cold welding) 또는 응고 균열과 같은 문제가 많이 발생한다.

지금까지 자동차 wheel용 소재의 용접부에서 산화물을 형성하여 균열발생의 원인으로 작용하는 Si, Mn, Cr, 그리고 Al과 같은 원소의 영향에 대하여 많은 연구가 되어 왔지만 아직까지 문제점이 산재해 있다. 본 연구에서는 DC butt 용접의 모사시험을 통하여 소재의 화학 조성 즉, 탄소당량(Ceq)에 따른 용접부의 가공성을 고찰하였다.

2. 실험방법

본 연구의 대상소재는 직접 용해하였으며 시험재의 화학조성은 표1에서 보는 바와 같다. Si는 0.026~0.210으로 변화시켰으며, Mn은 0.301~1.48로 변화하였고, 고강도강에 있어서는 Ti와 Nb를 첨가하였다. 이들은 3.2mm 두께로 열간압연하여 시험하였다. 표2에는 이들의 기계적성질을 볼 수가 있다.

DC butt 용접의 모사시험은 열싸이클레전장치인 Gleeble 1500을 이용하였으며 온도와 변형량은 그림 1에서 보는 바와 같은 경로로 변화시켰다. 시험편의 단면은 3mm×30mm이었으며 그 길이는 70mm로 하였다. 시험편의 온도는 1200℃까지 400℃/sec의 속도로 가열하였으며 그 온도에도 도달하면 냉각하였는데 67℃/sec로 300℃까지 냉각하여 공냉시켰다. 한편 Upset 변형량은 각각 1, 2, 4, 6mm이었으며 경우에 따라 10mm까지도 upsetting 하였다. 시험편의 온도가 1200℃에 도달하면 변형을 시작하여 600℃에 도달하면 upsetting 변형을 마쳤다. 용접시험이 끝난 시험편은 경도를 하중 1kg의 Vickers scale로 측정하였다. 한편 용접시험편은 3점굽힘시험을 실시하여 가공성을 평가하였는데 한계굴곡높이는 굽힘시험시 균열이 발생할 때까지의 변위량을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

DC butt 용접부의 미세조직은 대체로 ferrite와 martensite조직으로 되어 있으며 upset 거리에 따라 조직의 큰 변화는 없으나 upset거리가 커질수록 martensite조직의 분율이 낮아지고 있으며 미세화 되고있다. 이것은 upset거리가 커지면서 접합부가 연화되는 것을 나타낸다. 이것은 upset 거리가 증가하면 냉각속도가 떨어지므로 연화현상이 일어나는 것으로 설명할 수 있다. 즉 upset 거리가 길면 upset량이 많으므로 가열되는 부피가 커져서 냉각속도에 차이를 보일 수 있다. Kabasawa(1987)는 이러한 접합부의 변형에 대한 model을 제시하였는데 upset거리가 낮은 경우에는 재료가 계면을 따라 이동하며 upset거리가 증가하면 재료가 bead 방향과 재료의 표면방향으로 변형을 일으킨다고 제안하고 있다.

그림 2는 upset거리에 따라 용접부의 최고경도의 변화를 보여주고 있는데 upset거리가 증가하면 경도값이 떨어지는 것을 보여주고 있다.

그림 3은 3점 굽힘시험결과에 의한 균열발생직전의 한계굴곡높이를 upset 길이에 대하여 비교한 그림이다. 이것은 용접부의 가공성과 관계가 있는 것으로 upset거리가 짧은 경우에는 탄소당량(Ceq)에 관계없이 가장 나쁜 결과를 보여주고 있다. 반면에 upset 거리가 길어지면 한계높이도 증가하는 것을 알 수가 있다. 이것은 접합부 계면에서의 미세조직과 관계가 있는 것으로 앞에서 설명하였듯이 upset거리가 길어지면 martensite조직의 비율이 감소하며 미세한 조직으로 되기 때문에 경도가 떨어지는 것을 보았다. 그러나 탄소당량이 증가하면 경도가 높아지기 때문에 그 한계높이도 감소하는 것을 알 수가 있다.

따라서 DC butt 용접에서는 양호한 접합계면을 얻기 위해서 upset 거리가 길어야 하며 탄소당량(Ceq)이 낮은 소재가 유리한 것으로 판단된다. 적정용접조건을 정량적으로 표시하기에는 곤란 하지만 정성적으로는 계면에서의 접합이 가능하도록 가열을 낮은 온도로 하며 가능한 한 높은 가압력으로 upsetting하여야 할 것으로 판단된다. 고강도강의 경우 일반적으로 탄소당량(Ceq)이 일반강에 비하여 높으므로 상대적으로 높은 upset 거리가 필요하다. 동시에 변형저항을 높이기 위해서는 상당히 높은 upset 가압력이 필요하다고 판단된다.

4. 결론

DC butt 용접에서는 upset거리가 증가하면 냉각속도의 차이에 따라 용접부의 조직이 조대한 martensite조직에서 ferrite조직으로 변하므로 경도가 낮아졌다.

Upset거리가 증가하면 용접부의 가공성이 향상되는 것으로 나타났으며 탄소당량(Ceq)이 증가하면 오히려 용접부의 가공성이 저하되었다.

Table 1 Chemical compositions of experiment heats(wt.%)

Steel	C	Si	Mn	P	S	Ti	Nb	Al	Ceq
B	0.070	0.031	0.298	0.031	0.024	-	-	0.078	0.121
D	0.101	0.056	0.397	0.033	0.031	-	-	0.084	0.169
E	0.148	0.097	1.27	0.033	0.028	0.042	-	0.066	0.364
F	0.152	0.210	1.48	0.030	0.029	-	0.039	0.069	0.407

Table 2 Mechanical properties of experiment heats

Steel	Tensile strength (kg/mm ²)	Yield strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (Hv)	Yield ratio (YS/TS)	Mn/Si
B	37.0	29.6	36.4	106.5	0.80	9.6
D	40.3	31.6	34.5	115.6	0.78	7.1
E	55.3	46.8	25.7	165.9	0.85	13.1
F	58.2	49.8	24.6	180.3	0.86	7.0

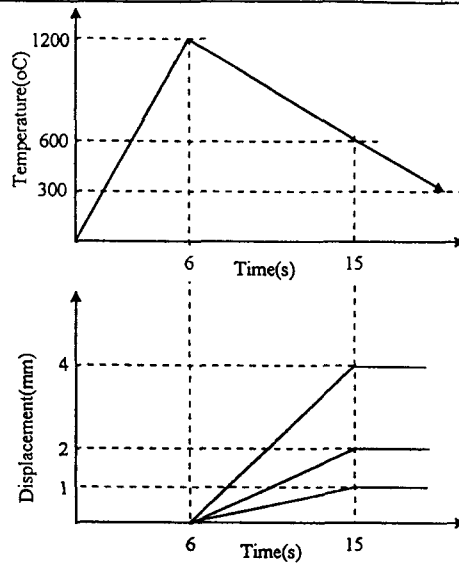


Figure 1. Variations in temperature and displacement for upset welding.

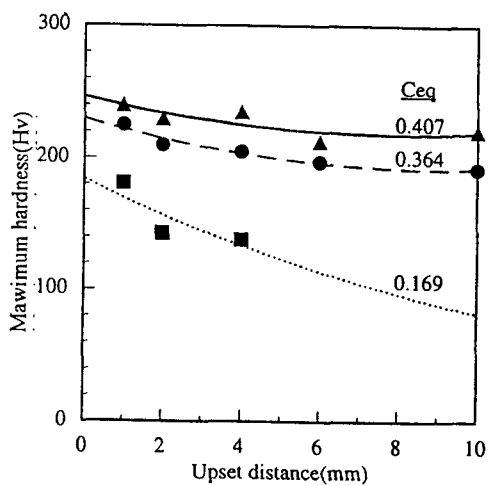


Figure 2. Changes in maximum hardness at the weld interface with respect to upset distance.

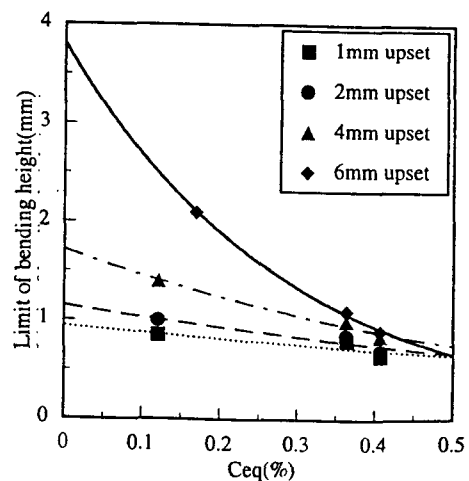


Figure 3. Changes in the limit of bending height with respect to Ceq