

자동차용 TRIP강의 Spot 용접성 향상 연구

Improvement of Resistance Spot Weldability of TRIP Steels

최 두열*

* POSCO 기술연구소

1. 서 론

최근 자동차 산업은 환경 및 안전규제의 강화, 내구성 향상 등 사회적인 요구사항이 점차 엄격해지면서, 자동차 Maker들은 차체의 경량화, 충돌안정성 향상, 내식성 보증 등을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 이러한 노력의 일환으로 인장강도 60kgf 이상의 고강도강의 채용이 크게 증가하고 있는 추세이다. 특히 고강도와 고연성의 조합 특성을 지닌 TRIP(Transformation Induced Plasticity)강에 대한 관심이 크게 높아지고 있는 추세이다.

그러나 상기와 같은 우수한 특성을 얻기 위해서 C, Mn, Si 등의 합금원소의 첨가가 요구된다. 따라서 TRIP강은 높은 탄소당량(Ceq)과 저항 점 용접의 매우 빠른 냉각속도의 조합으로 인하여 용접부의 경도가 급상승하게 된다. 이러한 용접부 미세조직은 용접부에 부가되는 peel 응력 또는 수직응력과 노치효과에 매우 민감하여 계면파단(Interfacial failure) 또는 부분계면파단(Partial interfacial failure)와 같은 취성파단이 일어날 가능성이 높으며, 이는 충돌특성과 같은 차체 또는 부품 성능의 저하를 초래할 수 있다.

이러한 TRIP강의 용접성을 개선하기 위하여 Pre-heating과 Post-heating 과 같은 용접 사이클의 최적화 연구가 진행되고 있다. 그러나 추가 공정이 부가되면 결국 전체 공정시간이 증가함에 따라서 생산라인에 적용하기 어려운 점이 있다. 본 연구에서는 공정시간의 큰 증가 없이 TRIP강의 용접성을 향상시키고자 하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

본 연구에서 사용된 시험재는 두께 1.2mm의

590MPa급 무도금 냉연재(60CR)과 전기도금재(60EG), 780MPa급 무도금 냉연재(80CR) 등 3종의 TRIP강으로, 60CR은 0.1C - 1.5Mn - 1.0Si, 60EG는 0.08C - 1.5Mn - 1.0Si, 80CR은 0.2C - 1.6Mn - 1.6Si을 주성분으로 하였다. 용접에 사용된 전극은 크롬동 재질의 외경 16mm, 선단경이 6mm인 DR type이었다.

2.2 실험 방법

단상 AC의 정치식의 Spot 용접기를 사용하였으며, 정격용량 100kVA이었으며 기본 용접조건은 Table 1과 같았다.

Table 1 Welding condition for experiments

Electrode force	3.5 kN
Squeeze time	20 cycle
Upslope	3 cycle
Weld time	10 ~ 20 cycle
Hold time	2 ~ 30 cycle

주어진 용접조건에서 적정용접전류범위 및 용접부 강도를 조사하였다. 하한전류는 너깃경이 $4\sqrt{t}$ 인 전류, 상한전류는 Expulsion 발생전류로 하였다. 너깃경이 $5\sqrt{t}$ 인 용접전류에서 전단인장시험(Tensile shear test) 및 십자인장시험(Cross tension test)의 용접부 강도와 미소경도를 평가하였다. 또한 고강도강에서 흔히 나타나는 유지시간 민감도(hold time sensitivity)를 알아보기 위하여 최소 2 cycle에서 최대 30 cycle 까지 변화시켜서 용접부 강도 및 미소경도의 변화를 평가하였다.

한편, 용접성 향상을 위하여 Pulse 용접, Pre- 및 pre-heating 등의 다양한 추가적인 용접 공정을 적용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 기본 용접특성

Fig. 1은 강종별 Weldability lobe를 보여주는 것으로, 가압력이 증가함에 따라 피용접재간의 접촉저항이 감소하게 되어 적정전류범위(상한전류-하한전류)가 증가하였다. 한편 60EG재가 60CR재에 비해 높은 전류쪽에서 적정전류범위가 형성되었는데, 이는 연강에서도 일반적으로 나타나는 현상으로 도금층이 용융되면서 용접시의 전류밀도를 저하시키기 때문이다.

일반 연강의 적정용접조건과 비교하였을 때, 고강도 TRIP강의 경우는 적정용접전류범위가 좁으면서 저전류측에서 형성되며, 0.5~1.0kN의 높은 가압력이 요구된다.

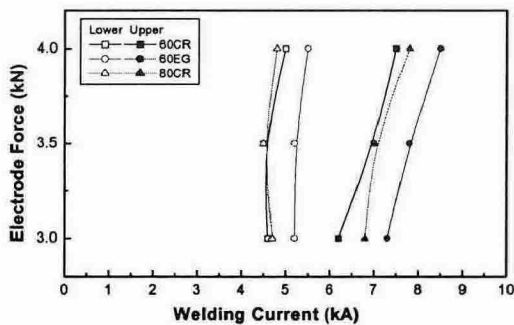


Fig. 1 Weldability lobe curves

강종에 따른 용접부 정적강도 특성을 알아보기 위하여 $5\sqrt{t}$ 의 너깃경을 갖는 용접부에 대해서 전단인장 및 십자인장강도를 측정하여 Table 2에 나타내었다. 전단인장강도는 모재강도에 비례하여 증가하지만, 십자인장강도는 모재강도 보다는 용접부 연성에 대한 의존성이 크다. 모재강도가 가장 낮은 60EG가 가장 높은 십자인장강도를 보였으며, 이는 용접부의 연성이 60EG가 가장 우수함을 말해 준다. 이러한 점용접부 연성을 정량적으로 나타내기 위하여 연성비(CTS/TSS)로 흔히 표현한다. 연성비가 높을수록 완전버튼파단(Full button fracture)에 가까워지며, 반대의 경우에는 계면분리(Interface fracture)가 일어날 가능성이 높다. 연성비가 0.54인 60EG는 부분버튼파단이 일어났으며, 상대적으로 연성비가 낮은 60CR과 80CR은 계면분리가 일어났다.

Table 2 Static strength properties

Steel	TSS(kN)	CTS(kN)	CTS/TSS
60EG	13.8	7.5	0.54
60CR	13.8	5.1	0.37
80CR	16.1	6.4	0.40

위와 같이 강종에 따라 정적 강도 거동이 다르게 나타나는 것은 용접부의 미세조직적 특징이 다르기 때문이라고 생각된다. 즉, 탄소당량이 높을수록 용접 후 냉각과정에서 마르텐사이트와 같은 경화조직의 생성이 많아질 것이다. 마르텐사이트 생성량이 많을수록 용접부의 연성이 저하될 것으로 예상된다. Fig. 2는 강종별로 용접부 경도분포 보여주고 있다. 용접부의 경도가 모재에 비해 거의 2배 가까이 증가함으로써 마르텐사이트가 상당량 생성되었음을 간접적으로 보여주고 있다.

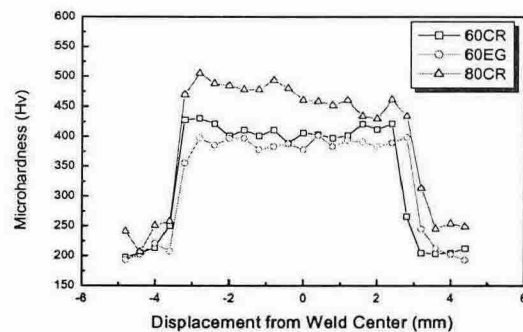


Fig. 2 Hardness distribution

용접부 미세조직, 즉 경화조직 생성거동은 탄소당량으로 대표되는 화학조성 외에도 냉각속도와 관계가 있다. 점용접 공정에서 냉각속도에 가장 큰 영향을 주는 인자로는 유지시간을 들 수 있다^{1,2)}. 유지시간이 길면 냉각속도가 커지므로 경화조직의 생성이 촉진되어서 용접부의 연성이 감소하는 경향을 보인다. Fig. 3은 유지시간에 따른 연성비의 변화를 보여주는 것으로써 60EG에서 위의 경향을 잘 보여주고 있다. 그러나 60CR과 80CR에서는 유지시간에 따른 연성비의 변화가 크게 나타나지 않았다.

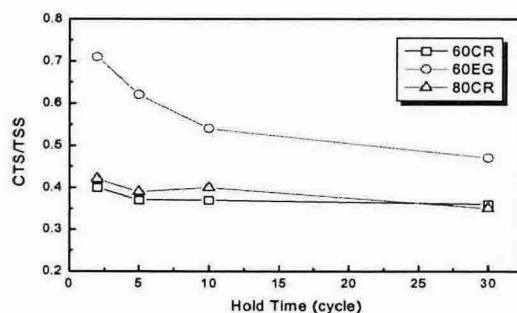


Fig. 3 Changes of ductility ratio (CTS/TSS) with hold time

3.2 Post-weld tempering

앞서 유지시간의 조정을 통하여 60EG의 경우 70% 이상의 높은 연성비를 얻을 수 있었다. 그러나 60CR과 80CR의 경우 유지시간을 2 cycle로 매우 짧게 하더라도 연성비를 향상시키지 못하였다. 이와 같이 초고강도강의 용접부 취성문제를 해결하기 위하여 post-weld tempering과 같은 용접공정 개선을 통하여 용접부의 연성을 확보하려는 노력이 진행되고 있다³⁾. post-weld tempering이란 1차 용접 사이클 뒤에 1차전류(primary current)보다 낮은 전류에서 tempering 사이클을 부가적으로 가해주는 일종의 용접 후열처리라고 볼 수 있다.

본 연구에서는 80CR강에 대해서 post-weld tempering 실험을 실시하였다. 먼저 temper 전류와 시간에 따른 용접부 연화정도를 알아보기 위하여 여러 조건에서 용접을 실시한 후, 용접부 표면에서 로크웰 C(Rc) 경도를 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. post-weld tempering에 의해 용접부의 경도가 저감되었으며, 1차전류의 약 70%의 temper 전류에서 20 cycle 이상의 temper 시간에서 연화가 가장 크게 진행되었다.

Post-weld tempering에 의한 용접부의 경도 저감과 연성비와의 상관성을 알아보았다. Fig. 5는 경도 감소가 가장 큰 70%의 temper 전류에서 temper 시간에 따른 연성비의 변화를 보여주는 것으로써, temper 시간이 증가함에 따라 연성비 또한 증가함을 알 수 있다. Post-weld tempering에 의해 연성비가 0.40에서 최고 0.64로 크게 증가하였으며, 파단모드 또한 20 cycle 이상에서 완전버튼파단으로써 매우 우수한 특성을 보여주었다.

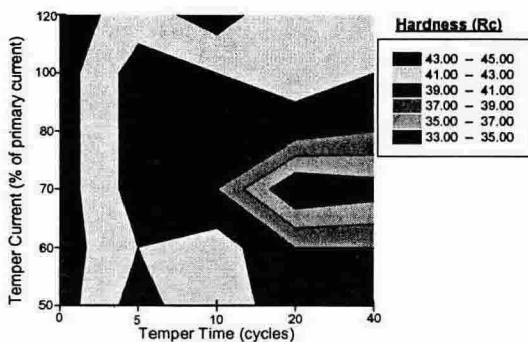


Fig.4 Weld hardness with tempering

conditions

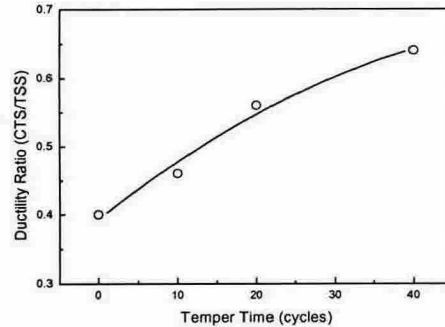


Fig.5 Ductility ratio with tempering conditions

4. 결 론

일반 연강의 적정용접조건과 비교하였을 때, 고강도 TRIP강의 경우는 적정용접전류범위가 좁으면서 저전류측에서 형성되며, 0.5~1.0kN의 높은 가압력이 요구된다. 한편, 용접부 파단이 계면분리나 부분계면분리와 같은 취성파단이 발생하여 용접부 연성비가 낮은 수준을 보였다.

TRIP강의 용접부 연성을 향상시키기 위하여 Post-weld tempering과 같은 Modified process를 적용한 결과 우수한 파단특성을 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. S. Goodman and W. Domis ; SAE Technical Paper Series 820280, 1982
2. J. Gould ; Welding Design and Fabrication, August 1999, p48
3. W. Chuko and J. Gould ; Welding Journal, January 2002, p1-s