

## 세립 페라이트-퍼얼라이트강 CO<sub>2</sub> 용접이음부 강도변화

### Variation of CO<sub>2</sub> Welded-Joint Strength of Fine-Grained Ferrite-Pearlite Steel

정성욱, 방국수

부경대학교 재료공학부, 부산광역시 남구 용당동 산 100번지

#### 1. 서론

현재 국내외에서 강압하 가속냉각, 다축 가공, 입내 석출물 제어 등의 기술을 사용하여 연강의 조성으로 인장강도 800MPa급을 가지는 미세립 구조용 고강도강(이하 세립강)의 개발이 활발하게 진행되고 있다. 이러한 세립강으로 용접을 하게 되면 열영향부 연화현상이 관찰되는데 이것은 용접이라는 재가열로 인해 페라이트의 세립화가 상실되기 때문이다. 열싸이클 재현시험의 결과 연화의 정도는 입열량이 커질수록 즉, 냉각속도가 길어질수록 커진다고 보고되고 있다.<sup>1)</sup>

본 연구에서는 열싸이클 재현시험이 아닌 CO<sub>2</sub> 실물용접을 행하여 용접 입열량에 따른 연화영역의 크기와 강도저하를 정량화하고 연화역 강도에 미치는 시험편의 형상에 대하여 조사하였다.

#### 2. 실험방법

시험재는 실험실적으로 제조된 두께 5mm의 C-Mn강으로 페라이트 크기가 평균 4 $\mu$ m이다. 인장강도, 항복강도, 경도는 각각 480MPa, 630MPa, 200Hv이다.

압연판을 4.5mm로 연삭한 후 입열량 10~100kJcm<sup>-1</sup>로 CO<sub>2</sub> 편면 1패스 용접을 행하였다. 용접 와이어는 인장강도 600MPa급의 AWS ER80S-G로서 10kJcm<sup>-1</sup>의 입열량에는 직경 1.2mm를, 그 이상의 입열량에서는 직경 1.6mm를 사용하였다. 입열량이 높은 경우 용타이 생겨 건전한 용접부를 형성하지 못하기 때문에 10kJcm<sup>-1</sup>와 20kJcm<sup>-1</sup>에서는 4.5mm 판 그대로 용접하였고, 40kJcm<sup>-1</sup> 이상에서는 4.5mm 판 두 개를 겹쳐서 용접하였다. 용접 후 경도 및 인장시험편 채취 위치는 한 판을 사용한 경우에는 판 두께 중앙부에서 채취하나 두 판을 쌓아 용접한 경우에는 아래 측 판의 판 두께 중앙부에서 채취하였다. 경도 시험은 하중 1kg의 비커스 경도를 측정하였는데 용접부 단면에 대하여 측정간격 1mm로 최소 3회 이상 측정하여 그 평균값을 경도값으로 하였다. 인장시험편은 ASTM E8의 표점거리 50mm, 폭이 10mm인 시험편으로 가공하였다. 시험편 폭이 용접 이음부 강도에 미치는 영향을 조사하기 위하여 10mm 이외에 20, 30, 50, 70mm의 인장시험편을 사용하였다.

#### 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1에 10~100kJcm<sup>-1</sup>로 용접한 후 단면의 연속경도 측정값을 나타내었다. 모든 용접조건에서 모재 경도 이하로 저하한 연화영역이 존재하였고, 연화영역 폭은 입열량의 변화에 따라 증가하여 10kJcm<sup>-1</sup>에서 6~8mm를 나타낸 후 지속적으로 증가하여 100kJcm<sup>-1</sup>에서 23~24mm를 나타내었다. 입열량 변화에 따른 이음부 최저 경도, 인장강도, 항복강도 비의 변화를 Fig. 2에 나타내었는데 모두 지속적으로 저하하여 40kJcm<sup>-1</sup>에서 모재의 약 80%를 나타낸 후 거의 포화하였다.

Fig. 3은 재현시험편 경도와 인장강도 관계를 사용하여 계산한 이음부 최저 인장강도와 실측한 인장강도의 관계를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 용접 이음부 인장강도는 경도로부터 추정된 연화영역 최저 인장강도와 거의 일치하여 연화영역 소성구속에 의한 인장강도 상승효과는 보이지 않았다. 이 사실은 연화영역을 함유한 용접이음부가 소성변형 되면 연화영역 보다 강도가 큰 모재 부분이 변형을 구속해서 이음부 강도가 연화영역 자체의 강도보다 커진다는 점과 다르다. 佐藤 등의 연구에 따르면 연화부를 포함한 이음부의 정적강도는 연화영역 크기에 대한 상대두께  $X(=H_0/D_0)$ , 즉 연화영역 두께( $H_0$ )와 시험편 직경( $D_0$ )의 비에 따라 결정된다고 하였다.<sup>2)</sup>

Fig. 4는 이러한 佐藤의 모델을 이용하여서 계산한 값과 실측한 값을 나타내었다. 연화영역을 포함한 이음부 인장강도는 상대두께가 0.5 이하에서 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 본 실험에서 소성구속 효과가 나타나지 않는 것은 연화영역 폭이 시험편 두께에 비하여 2.3~6배로 매우 크기 때문이다. 또, 판 폭의 증가에 따른 인장강도의 상승을 확인하기 위하여 시험편 폭을 10~70mm

로 변화를 주어서 시험을 행하여도 폭 방향 소성구속에 의한 강도의 증가는 보이지 않았다.

#### 4. 결론

- 1) 강압하-가속냉각에 의해서 제조된 세립강을 CO<sub>2</sub> 용접한 결과 10kJcm<sup>-1</sup> 이상의 입열량에서 연화영역이 생겼고, 입열량이 증가함에 따라서 연화영역 폭도 증가했다.
- 2) 연화영역에서의 경도, 인장강도는 입열량의 증가와 함께 지수적으로 저하하다가 입열량 40kJcm<sup>-1</sup>에서 모재의 약 80%를 나타낸 후 포화하였다.
- 3) 본 실험에서 시험편 두께에 대한 연화영역의 크기, 즉 상대두께가 약 2.3~6배로 매우 크기 때문에 소성구속에 의한 인장강도의 상승효과는 나타나지 않았다.

#### 참고문헌

- 1) 방국수, 박봉규, 정호경; 대한금속학회지, 제37권 제12호 (1999), 1544
- 2) 佐藤邦彦, 豊田政男, 蘇井英輔; 日本造船學會論文集, 132號 (1971), 381

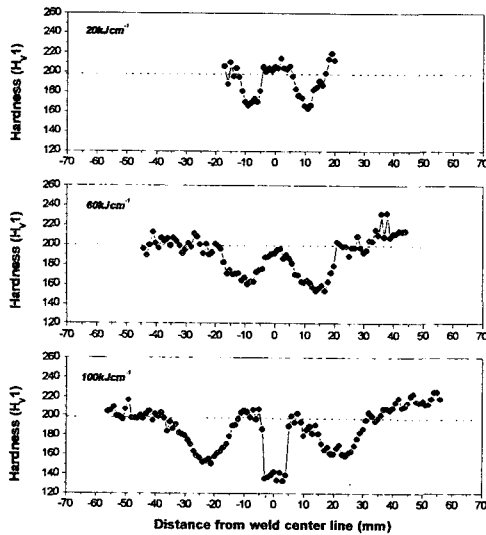


Fig. 1 Comparison of hardness variation in CO<sub>2</sub> welded joint

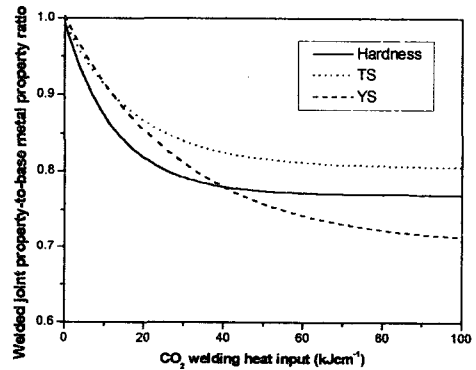


Fig. 2 Comparison of welded joint property-to-base metal property ratio as a function of heat input

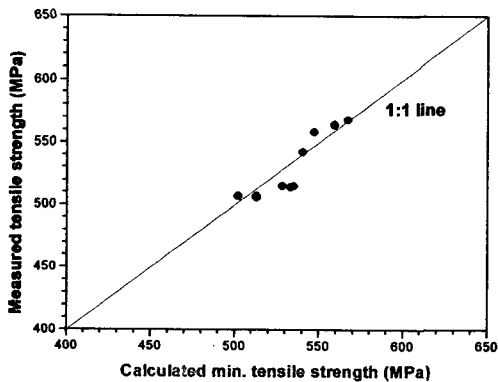


Fig. 3 Comparison between calculated minimum tensile strength and measured welded-joint tensile strength

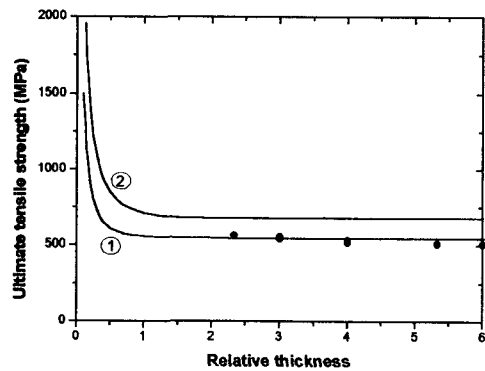


Fig. 4 Comparison of UTS variation between square and rectangular specimen