

열기전력 측정을 이용한 고장력강 용접부의 미세조직의 고찰에 관한 연구 Thermoelectric Power (TEP) Measurement To Assess Weld Integrity of HSLA Steel Welds

박영도

현대·기아 연개개발본부 금속재료연구팀

ABSTRACT Measurements of Thermoelectric power (TEP) were used to evaluate microstructural analysis in HSLA steel weldments. The measurements of TEP for weld microstructure across weldment have shown good correlation with hardness profile. The different TEP values indicated that changes in weld microstructure can be correlated with TEP values measured.

1. 서 론

용접은 재료의 용융 및 모재의 고온 열 이력을 수반하게 되므로 각종 내부 결함, 변형, 재질의 변화를 갖게 된다. 따라서 다양한 시험검사법을 사용한 용접부의 품질검사가 요구되어진다. 특히 용접에 적용되는 새로운 비파괴 시험법의 개발은 많은 증가를 보여 왔고 기존 시험법의 개선도 현저히 이루어졌다. 외관 검사를 포함하여 방사선 투과시험 및 초음파탐상시험등은 잔류응력 및 각종 용접결함을 검사하는데 사용되어 왔으나 여전히 용접의 품질을 효과적으로 검사하기에는 많은 어려움이 있다. 특히 용접부 조직 검사는 파괴시험을 통한 방법으로만 가능하며 매크로 조직시험 및 현미경 조직시험이 대표적인 시험법들이다.

용접 후 용접품질을 파악하기 위해서는 용접부의 인장강도, 연성, 경도, 미세조직, 매크로조직, 화학성분등에 관한 특성의 자세한 정보가 필수적이다. 하지만 이러한 기계적, 조직적 특성의 분석은 파괴시험을 통해서만 가능하며 실제 용접부를 대표할 수 있는 시험편을 제작하여야 함에 따라 현장에서의 용접품질 검사에는 용이하지가 않은 단점이 있다.

용접의 기계적, 조직적 성질을 비파괴적인 방법을 통하여 분석하는 것은 현장에서 이루어지는 용접의 건전성을 확보하는데 매우 중요하다. 본 연구에서는 열기전력(Thermoelectric power)을 이용하여 용접부의 기계적, 미세조직적 특성을

검사하려는 시도가 이루어졌다. 열기전력을 이용한 비파괴 검사는 1950년대 이종금속 분류를 시초로 이용이 되었으며, 이후 합금의 시효, 침입형 원소의 양, 결함 및 구조재의 파손을 일으킬 수 있는 마이크로 조직의 변화를 평가하는 연구가 진행이 되어왔다. 본 연구는 열기전력을 이용한 용접부의 미세조직 고찰과 측정된 열기전력 상수와 경도의 상관관계를 규명하는데 그 목적을 두고 있다.

2. 이론적 배경

서로 다른 2종의 도체 양 끝을 접합시킨 폐회로의 2점점을 각각 다른 온도로 유지할 때 그 회로에 생기는 기전력을 열기전력(thermoelectric power)이라 하며, 이 기전력에 의해 회로에 흐르는 전류는 열전류(thermoelectric current)이며 양단의 전압차는 Eq. 1로 나타낼 수 있다. 도체에서 일어나는 이 현상을 제벡효과(Seebeck effect)라고도 한다. 이러한 원리는 온도측정이나 열선검출용 소자로 많이 이용한다.

$$V_{AB} = \int_{T_0}^{T_1} (Z_A - Z_B) dT = \int_{T_0}^{T_1} Z_{AB} dT \quad \text{Eq. 1}$$

측정하고자하는 도체의 열기전력 측정은 도체 양단의 두 점점의 온도차와 전압차를 측정하여 기준이 되는 도체 (대부분의 경우 Copper)의 열기전력 상수에 대한 차이로 구할 수 있다. (Eq. 2)

$$Z_a = \frac{V}{\Delta T} - Z_{Cu} \quad \text{Eq. 2}$$

고체물리학의 이론적 모델로 열기전력을 설명할 때, 열기전력 상수는 electron concentration, 전자의 effective mass 등에 영향을 받는다. 특히 합금에서 electron scattering에 영향을 주는 factor들로 부터의 영향이 큰 것으로 알려져 있다. 이러한 factor들로는 용질의 양, 상(phase)의 양, 격자 변형, 미세조직적 결합 등이 있다. 특히 미세조직의 변화에 따른 electronic band내의 Fermi energy(E_F) 변화는 열기전력상수를 변화시키는 주요한 원인의 하나이다. 따라서 용접 후 냉각 시 일어나는 용접금속의 상(phase) 및 조직의 변화에 기인한 열기전력의 변화는 모재의 열기전력과 많은 차이를 보이게 되며 측정된 용접금속의 열기전력 상수는 특정 미세조직을 대표하는 상수로 사용될 수 있다.

용접부의 열기전력 측정을 위한 장치는 Fig. 1에 나타내었다. Probe 타입의 Copper 탐침(Probe)은 국부적인 영역의 열기전력 측정을 가능하게 하며 양단의 온도차는 약 10°C를 유지하였다. 전압의 측정은 nano-voltmeter를 사용하여 sub-micro voltage도 측정이 가능하게 제작되었다.

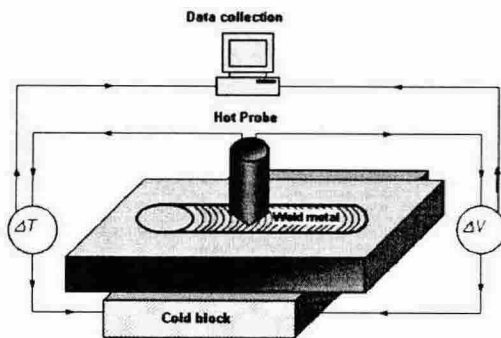


Fig. 1. Schematic diagram of thermoelectric power measurement scheme.

3. 실험 방법

실험에는 고장력강(HSLA 100) 및 AISI1090이 모재로 사용되었다. Shielding gas는 Ar을 사용하였으며, GTA(Gas Tungsten Arc) 용접을 행하였다. 용접 시 heat input을 변화시키기 위

하여 용접 전류를 변화 시켰다. 열기전력의 측정 은 용접선에 수직되는 방향으로 행하였고 각각 3회의 측정 후 평균값을 최종 열기전력 상수로 사용하였다. 용접부의 열기전력 측정값과 경도 측정값을 비교하였고, 경도는 Vickers hardness로 측정하였다. 미세조직은 시편을 Nital로 에칭 후 광학 현미경을 이용하여 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

TIG 용접된 고장력강의 용접부에 대한 열기전력이 측정되었다. Fig. 2에서 보이듯이 용접부와 모재사이에는 명확한 열기전력의 차이가 나타났으며 서로 다른 두 영역(A-A'와 B-B')에 대한 열기전력의 측정에도 거의 동일한 결과를 얻을 수가 있었다. 이러한 열기전력의 변화는 용접부와 모재의 미세조직차이에 의해 나타나는 것으로 판단된다. Fig. 3에서 나타난 것처럼 용접금속의 경우 용융과 냉각의 과정을 거치면서 미세조직이 현저히 변했기 때문에 열기전력은 용접부의 미세조직에 직접적인 영향을 받는 것으로 볼 수 있다. 일반적으로 이러한 미세조직은 용접부의 경도와 직접적인 상관관계를 보여주므로 열기전력과 경도의 측정결과를 한 도표에 나타내었다. Fig. 4는 고장력강을 TIG용접한 용접부의 열기전력과 경도 분포를 나타낸 것이다. 경도측정 결과는 용융부와 열영향부, 모재들 사이의 확연한 경도 차이를 보여주며 열기전력 또한 비슷한 경향을 보이고 있다.

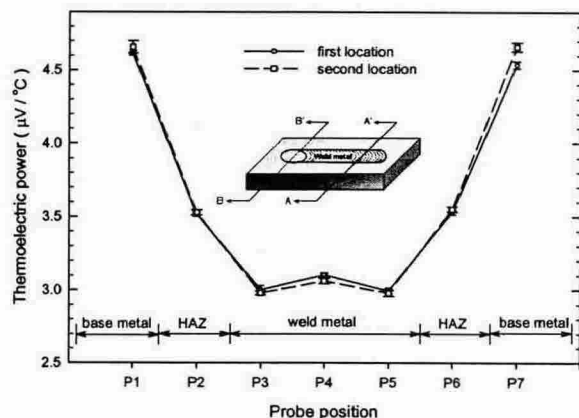


Fig. 2. TEP coefficient measurements cross the weldments for welded HSLA steel specimen. Welding condition: high purity argon shielding gas, 120 Amps, 1 mm/s travel speed, ice water

quenching.

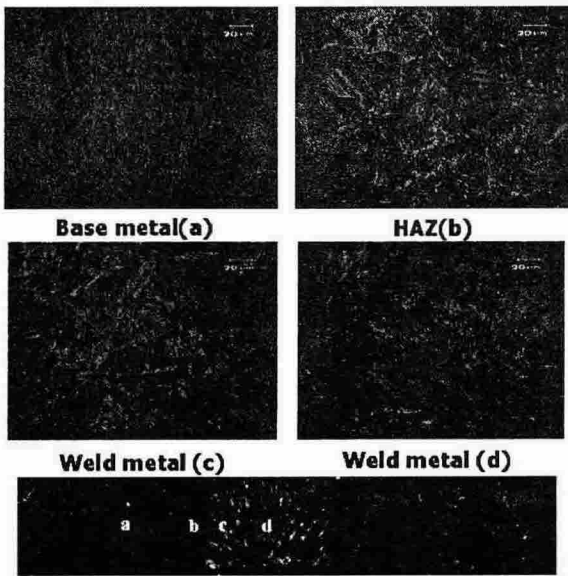


Fig. 3. Microstructure of the TIG welded HSLA Steel; (a) Base metal, (b) HAZ, (c) and (d) Weld metal.

경도측정결과 용접금속영역에서는 경도가 증가한 반면 열기전력은 오히려 감소하는 것이 관찰 되었다. 이러한 차이는 용접부에서 용융이 된 부분과 되지 않은 부분의 미세조직 차이에 의한 것으로 사료된다.

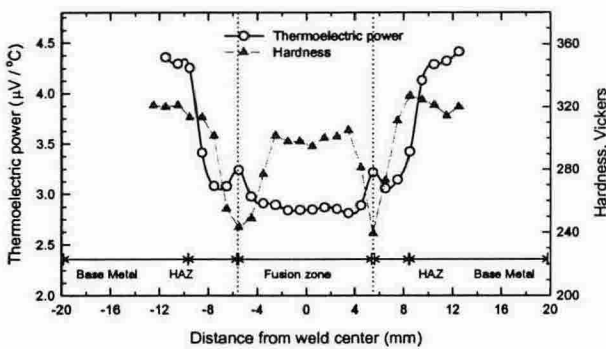


Fig. 4. Comparison of TEP coefficients and Vickers hardness across the weldments for HSLA steel welded specimens with welding current of 120 Amp.

용접을 행한 후 용접금속의 미세조직에 관한 비파괴적 검사는 현재 까지도 개발이 되어있지 않고 있다. 따라서 TIG 용접 시 용접 전류를 변화시켜 heat input을 다르게 하여 용접금속 미세

조직에 변화를 준후 열기전력을 조사하여 보았다. Fig. 5는 용접전류가 증가함에 따라 용접 시 heat input이 증가하게 되고 결과적으로 미세조직에 차이를 보이게 된다. Fig. 5에서 보이는 열기전력의 차이는 용접금속 미세조직의 차이에 의한 것으로 판단된다.

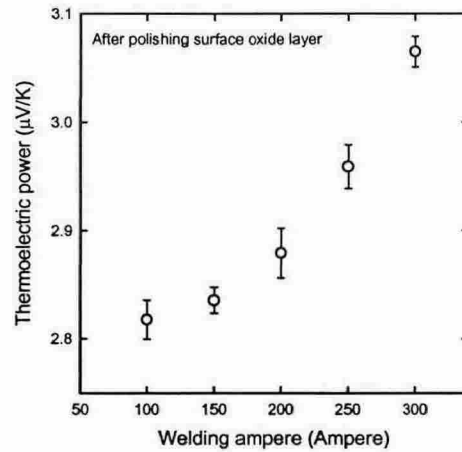


Fig. 5. Thermoelectric power as a function of welding current.

4. 결 론

- 1) 용접부에서 측정된 열기전력은 용접금속, 열영향부, 모재 사이에 명확한 차이를 보여 주었으며 이러한 차이는 용접부의 미세조직에 변화에 따른 열기전력의 차이에 기인하는 것으로 사료된다.
- 2) 용접부의 경도와 열기전력사이에는 직접적인 상관관계는 관찰되지 않았으나 용접부와 모재부의 경도 및 열기전력 변화는 유사한 경향을 보였다.
- 3) 용접 heat input 변화에 따른 용접금속의 미세조직변화는 열기전력측정을 통해 그 변화가 관찰 되었다.