

## 용융용접의 기초와 실제(II)

### - 아크 용접용의 보호 가스 -

정 호 신

#### Fundamental of Fusion Welding

#### - Shielding Gases for Arc Welding -

Ho-Shin Jeong

보호 가스의 주요한 기능으로 고려하여야 하는 사항으로는 보호 가스의 용접부 보호 효율, 아크의 안정성, 용접부의 형상, 용접금속의 물성 등이 있다.

#### 1) 보호 가스의 효율

용접시에 사용하는 보호 가스의 화학적, 물리적인 특성은 보호 효율을 지배하게 된다. 보호 가스의 주요한 기능은 용접금속과 그 주위의 분위기 사이에 생길 수 있는 바람직하지 않은 반응을 방지하는 것이다. TIG(GTAW) 용접시에는 텅스텐 전극이 오염되지 않도록 하여야 하며 MIG(GMAW) 용접시에는 이와 반대로 용접 와이어의 끝단부, 용적 및 아크 분위기 사이의 반응을 방지하여야 한다.

용접부에 문제를 일으킬 수 있는 활성적인 가스로는 산소, 질소 및 수소 등이 있으며 산소와 질소는 용접부 주위의 공기가, 수소의 경우에는 수분이나 탄화수소가 주 발생원이 된다.

재료는 대부분 산화성 분위기에서 가열하면 산화물을 생성하게 되는 반면에 질소는 Ti, Ta, V, Nb과 같은 활성적인 원소와 반응하여 고용되지 않는 질화물을 형성하기도 하며, Fe, Mn, Cr, W 등의 원소와 결합하여 고용되는 화합물을 형성하기도 한다.

수소는 대부분의 금속중에 고용되지만 Ti, Zr 및 Nb 등과 같이 매우 활성적인 원소와 화합물을 형성하기도 한다.

GTAW 용접시의 텅스텐 전극의 산화는 Ar이나 He 등 불활성 가스를 사용하면 막을 수 있다. 비교적 적은 양의 수소가 함유되어 있을 경우에는 큰 문제가 없고, 오히려 어떤 면에서는 혼합한 것이 더욱 바람직한 경우도 있다.

용접과정중에 용융지에서는 가스-금속 반응에 비해 많은 양의 수소와 질소가 존재할 수 있지만, 고체 상태에서는 이 가스의 고용도가 낮기 때문에 고용한도 이상의 가스는 응고 과정중에 대기중으로 방출된다. 가스의 기포가 응고과정중에 만들어지면 이 기포는 기공으로서 용접금속중에 잔류하게 된다. 이와 같은 현상은 용접하여야 할 금속중의 가스 고용도에 의존하게 된다. 기공 발생 경향은 (예를 들어 Al 합금에 대한 기공 생성의 주된 인자는 수소이며, 철강재료의 경우에는 질소) Fig. 1과 같은 평형 상태에서의 고용도에 의해 설명할 수 있다. 용접 과정중에는 평형 상태에 비해 훨씬 많은 양의 가스가 고용된다. 또한 가스의 고용도는 합금원소나 아크 분위기의 다른 가스의 영향을 받을 수도 있다. 용접부가 산화되면 합금원소가 소모되고, 그 결과 산화물계의 개재물이 만들어지지만, 산소는 GMAW의 경우에는 유효한 작용을 하기도 한다.

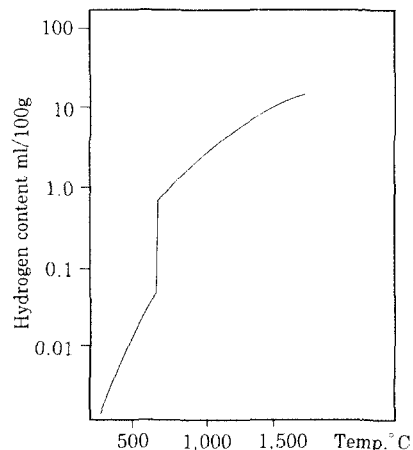


Fig. 1 Al중에서의 수소 고용도의 변화

그러나 과도한 양의 산소는 용접금속의 물성을 저하시키게 된다.

보호 가스의 흐름중에 난류가 형성되면 오염도가 증가하므로 난류 형성은 바람직하지 못하다. 가스의 밀도와 점성은 가스의 흐름의 층류화와 보호 효과의 효율화에 영향을 끼친다. 몇 가지 중요한 가스의 물리적인 특성치를 Table 1에 나타낸다. 이 표에서 Ar이나 이산화탄소와 같이 밀도가 높은 보호 가스일수록 용접시의 횡풍이나 상승 기류의 영향을 적게 받는다.

가스	이온화 퍼텐셜(eV)	밀도(kg/m <sup>3</sup> )
Ar	15.75	1.784
He	24.75	0.178
수소	13.59	0.083
질소	14.54	1.161
산소	13.61	1.326
이산화탄소	-	1.077

## 2) 아크의 안정성

GTAW 용접시에는 이온화된 가스 분위기중에 전류가 공급됨으로써 아크가 유지된다. Table 1의 가스의 해리 및 이온화 퍼텐셜은 아크의 안정성의 척도가 된다. 일반적으로 이온화 퍼텐셜이 낮으면 아크 안정성이 좋아진다. 아크 중심부와 같이 고온으로 가열되는 부분은 이온화되기 쉬우며, 이온화 경향은 가스의 열전도도와 관련이 있다. 열전도도가 좋은 경우에는 아크 중심부의 직경이 작아지고 전압이 높아진다(예를 들어 용접전류 300A로 용접할 때 He를 사용할 경우에는 전체적으로 아크 전압은 Ar을 사용하는 경우의 2배 정도가 된다).

아크의 경직성(stiffness)은 용접 전극과 모재 사이에 작용하는 힘에 의해 나타낼 수 있고, 이 경직성은 보호 가스에 영향을 받으며 He량이 많은 혼합 가스는 Ar보다 훨씬 적은 아크력이 아크 중심부에 작용한다(실제로 고전류로 용접할 경우에는 아크력이 적어야 언더컷 발생 방지에 효과적이다).

GMAW에서는 아크 루트부의 거동이 용접 작업 안정성에 큰 영향을 끼치고 일반적으로 불활성가스중 소량의 산화성 가스를 첨가한 혼합 가스를 사용하게 되면 아크 루트의 이동성이 저하되고 이에 따라 아크의 안정성이 좋아진다. GMAW용접시 Ar가스중에 CO<sub>2</sub>를 5% 이상 첨가하면 아크의 안정성이 나빠지고 스파터 발생량도 많아진다.

CO<sub>2</sub>가스로써 직경 1.2mm인 솔리드 와이어를 용접 전류 260A로 용접할 경우, 용접 길이 1m당 16g의 스파터가 발생되는 반면, Ar-CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> 혼합가스를 사용하면 5.5g의 스파터가 발생된다는 연구 결과가 있다. 이와 같은 스파터는 Ar-He-CO<sub>2</sub> 혼합 가스를 사용하면 아크 안정성의 개선과 용적 크기의 감소에 의해 스파터 발생량을 1.5g 수준으로 낮출 수 있다는 결과가 얻어지고 있다. 이와 같은 스파터의 감소와 아크 안정성의 향상은 수동용접시에 유용한 것이지만, 특히 가격이 비싼 각종의 지그나 고정구의 손상을 방지할 필요가 있고 용접기의 사용률이 높은 자동화 용접 공정이나 로봇 용접의 경우에는 매우 효과적이다.

## 3) 용접부의 형상

용접부의 형상은 Fig. 2와 같이 정의할 수 있는 데 용접시의 보호 가스는 GMAW, GTAW 용접 비드의 형상에 큰 영향을 미칠 수 있다.

희석된 부분의 형상이나 용접 덧살은 모재 및 용접재료와 사용한 가스의 영향을 받게 되지만, 동일한 용접 전류 조건에서 아크의 에너지를 증가시키는 가스인 He, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>를 Ar 가스에 첨가하면 전체적으로 용융부의 체적은 증가한다.

Ar 가스를 사용하면 finger형 또는 와인 잔(wine glass) 형태의 용입 형태가 되지만 He-Ar혼합 가스를 사용하면 훨씬 둥근 형태의 용접 비드가 얻어지며 용입 깊이도 깊어진다. 가스 선택을 적절하게 되면 용접

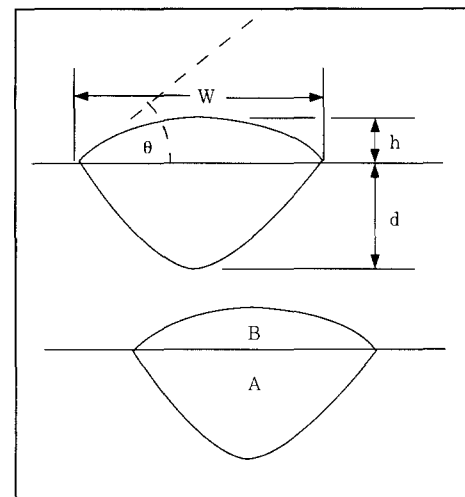


Fig. 2 용접금속의 형상(W: 용접비드의 폭, h: 용접덧살의 높이, d: 용입 깊이,  $\theta$ : 접촉각, A: 용접덧살의 단면적, B: 모재 용융부의 단면적, 희석률:  $\frac{A}{A+B} \times 100\%$ )

덧살의 형태도 개선되는 데 용접덧살의 높이가 낮고 용접 비드가 훨씬 평탄하게 되면 용접 와이어 사용량도 많이 줄일 수 있고 이것은 특히 스테인리스강이나 알루미늄 합금 용접 와이어와 같이 가격이 비싼 용접 재료를 사용할 경우에는 매우 중요한 인자가 된다.

#### 4) 용접금속의 물성

용접금속의 물성은 주로 용접재료의 화학성분에 의존하지만 보호 가스는 용융 특성, 합금원소 회수율, 현미경조직 및 기공 생성에 영향을 미치기 때문에 다음과 같은 측면에서 용접이음부의 인장강도에 영향을 미칠 수 있다.

기공이 생성되면 단면적의 감소를 초래하게 되는 결과, 용접이음부의 강도 특성에 영향을 미치게 된다. 기공은 적절한 보호 가스의 선택과 보호 효과의 효율화에 의해 방지할 수 있다. 용융용접시의 각종 결합도 용접공정상의 다른 변수에 대한 여유도가 큰 가스를 선택하므로써 최소화할 수 있다.

합금원소는 GMAW 용접시의 용적 이행중에 소모될 수 있다. 활성적인 금속원소인 Ti, Zr 과 같은 원소의 경우에는 소모율이 매우 높고, 이에 따라 용접금속의 물성에 큰 영향을 끼칠 수도 있다.

용접후의 합금원소 회수율은 보호 가스의 산화 퍼텐셜에 의존하므로 통상 용접재료의 화학성분을 결정할 때나 최대의 회수율을 얻기 위해서는 불활성 가스의 사용을 고려할 필요가 있다.

보호 가스는 용접금속의 화학성분에 영향을 미치기 때문에 용접후의 용접금속의 현미경조직은 보호 가스의 종류나 조성의 영향을 받을 수 있다. 예를 들면 철강재료 용접부의 인성을 높이기 위해서는 GMAW 용접시 보호 가스의 산화 퍼텐셜을 높이는 것이 유용하다고 알려져 있다. 이와 같은 현상은 미세한 침상의 페라이트(acicular ferrite)의 핵생성에 기인하는 것이다. 그러나 CO<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub> 함유량이 과도하게 되면(통상 30% 이상의 CO<sub>2</sub>) 산화물계의 개재물이 너무 많아지고 이에 따라 용접금속의 인성이 저하하게 된다.

#### 5) 주요 보호 가스

##### 가) Ar 가스

Ar 가스는 GTAW 용접시에 가장 많이 사용되는 보호 가스이다. 이 가스는 완전히 비활성적이며 아크를 안정시키고, 공기에 비해 밀도가 높으며 차폐 효과도 매우 크다. 이온화 퍼텐셜이 15.8eV로 낮기 때문에 아크의 발생이 용이하고 아크 기둥의 형상도 원추형이다.

보호 가스로 Ar 가스를 사용한 경우의 용입 특성은 Fig. 3과 같은 finger형 또는 wine glass형으로 요약

할 수 있다. 즉 용법 비드 중심부는 용입이 깊고, 중심부에서 멀어질수록 용입이 얇아진다. 또 철강재료를 GMAW로 용접할 경우에는 Ar 분위기에서는 아크 에너지가 낮고, 용접입열량이 적고 냉각속도가 빠르고, 액상인 철 원소의 표면장력이 크기 때문에 용접 덧살이 커진다. 이와 같은 문제점은 소량의 산소를 첨가하면 용융철의 표면장력이 작아지기 때문에 개선할 수 있다. 또한 100% Ar 분위기에서는 GMAW 용접시의 아크안정성이 나쁘지만 이 경우에도 보호 가스중에 산화성 가스를 첨가하면 아크의 안정성이 개선된다.

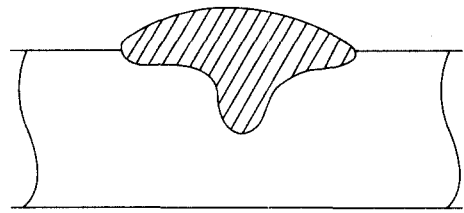


Fig. 3 Finger 형 또는 와인 잔 형태의 용입 형상

##### 나) He 가스

He은 화학적으로 비활성적이지만 공기보다 가볍고, 가격이 비싼 것이 단점이다. 이러한 측면에서 과거에는 보호 가스로 He을 사용하는 빈도가 적었다. He은 이온화 퍼텐셜이 24.6eV로서 높고, 이에 따라 GTAW 용접시 아크의 발생이 용이하지 않지만, 일반적으로 Ar가스에 비해 동일한 전류 조건에서 요구되는 아크 전압이 높기 때문에 상대적으로 용접입열량을 높일 수 있는 장점도 있다.

He을 보호 가스로 사용하면 용접 비드의 폭에 대한 깊이의 비가 작고 용접 덧살의 크기가 작다. 또 용접속도를 높일 수 있고, 이에 따라 He을 보호 가스로 사용하면 특히 열전도도가 빠른 재료를 용접할 경우에는 전체적인 측면에서 경제적이다.

##### 다) 이산화탄소

이산화탄소는 탄소와 산소의 화합물이란 점이 근본적으로 다른 가스와 다른 점이다. 용접 아크 분위기에서 탄산 가스는 일산화탄소와 유리 산소로 해리된다. 아크의 온도가 충분히 높아지면 유리 산소는 이온화된다. 이와 같이 해리된다는 것은 용접분위기가 강한 산화성 분위기로 된다는 것을 의미하지만, 일산화탄소가 유리 산소의 산화성을 상쇄하게 된다. 이 가스는 특히 용접 대상재료의 표면이 페인트로 도장하였거나 프라이머 코팅되어 있는 경우와 같이 표면에 오염원이 존재할 경우에 그 영향을 상쇄할 수 있다는 점에서 유용하다. 그러나 산화 퍼텐셜이 높기 때문에 용가재의 합

금원소 첨가량을 충분하게 하여 용접과정중의 합금원소의 소모를 보상하여야 한다.

이 가스를 사용하여 GMAW 용접할 경우의 용적 이행은 주로 단락 이행이고, 진정한 의미에서의 스프레이 이행은 얻어지기 어렵다. 이에 따라 스패터 발생량이 많고 작업 안정성도 나빠진다. 그러나 가스 유량을 늘리면 작업성이 좋아지는 경향을 가지기 때문에 가스 유량의 증가시키면 산화 퍼텐셜이 증가되기 때문에 프라이머를 칠한 재료를 용접할 경우에는 작업 안정성이 개선될 수 있다.

#### 라) 산소

산소 자체는 보호 가스로 사용되지 않지만 혼합 가스를 사용하는 경우에 산소는 매우 중요한 역할을 한다. 산소는 크게 두 가지 기능을 가지고 있는데 첫째는 아크의 안정성을 향상시키는 것으로 Ar 가스와 거의 같은 수준인 13.6eV에서 이온화된다. 둘째로 산소는 용접금속 및 용가재 용적의 표면장력에 영향을 끼친다는 것이다. GMAW 용접시에 불활성 가스중에 산소를 첨가하여 용접하면 용적의 표면장력이 작아지고 아크가 안정화된다. 이와 같은 효과 때문에 용적의 크기가 작아지고 스패터 발생량도 적어지게 된다.

또 보호 가스중에 산소를 첨가하면 Fig. 2의 용접부형상에서 설명한  $\theta$ 값, 즉 용접 비드의 접촉각이 작아

지고, 그에 따라 용접 덧살의 크기도 작아지므로 용가재의 양을 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한 접촉각이 작아지면 언더컷 발생도 적어질 뿐 아니라 응력 집중원의 생성도 줄일 수 있다.

산소 첨가량이 많아지면 합금원소의 회수율이 낮아지지만, 산소의 산화 퍼텐셜은 CO<sub>2</sub>보다 높기 때문에 CO<sub>2</sub>를 혼합가스로 사용할 때보다 회수율은 더 낮아진다.

#### 마) 수소

GMAW 용접할 때 He-Ar-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> 혼합 가스를 사용하는 예도 간혹 있지만, 수소를 혼합 가스로 사용하는 경우는 대부분 TIG 용접이나 플라즈마 용접에 국한된다. 수소는 이온화 퍼텐셜이 13.5 eV로서 비교적 낮지만, 열전도도가 높다. 보호 가스중에 첨가하는 양이 증가하면 통상 아크 전압이 높아져야 한다. 아크 에너지가 증가하는 만큼 용입 깊이가 증가하게 되고 용융지의 유동성도 향상된다. 또 수소는 환원성가스로서의 역할을 하게 되고 이에 따라 용융지 표면에서의 산화 피막을 제거하여 용접 비드를 청정하게 하는 효과가 있다.

그러나 수소는 경화능이 큰 각종 철강재료 용접 균열의 주원인이 된다. 따라서 보호 가스에 수소를 첨가할 경우에는 재료의 수소에 의한 균열 감수성을 면밀하게 검토하는 주의가 필요하다.



- 정호신(鄭鎬信)
- 1954년생
- 부경대학교 재료공학부
- 용접균열, 용접야금, 확산용접
- e-mail : hsjeong@pknu.ac.kr