

용접부의 균열 및 그 방지(I)

- 용접금속과 가스 -

박 화 순

Cracking in Welds and Its Prevention(I)

- Gases in Weld Metal -

Hwa-Soon Park

용접은 각종 구조물의 제작에 없어서는 안될 필수 불가결한 가공기술이다. 특히 중, 화학플랜트, 심해탐사선, 원자로, 핵융합로, 우주선 등의 복잡, 대형, 안정성, 정밀가공을 요구하는 구조물의 경우에는 용접접합이 필수적이다. 이들 용접구조물의 신뢰성을 높이기 위해서는 재료, 설계, 공작의 견지로부터 종합적으로 다루어져야 하며, 결함이 없는 용접부를 형성시키는 것이 무엇보다 중요하다. 특히, 최근에는 구조물의 사용환경이 점차 극한의 상태를 요구하는 경우가 많고, 따라서 사용되는 재료도 특성화, 고급화, 복합화되고 있기 때문에, 이들 구조물에 대한 용접관련 전문가의 사전 검토가 충분하지 않을 경우에는 예기치 못한 결함의 발생과 함께 구조물의 손상 또는 파단 등의 심각한 문제로 발생할 가능성이 더욱 커진다고 할 수 있다. 우리는 이러한 한 예로서, 1994년 10월에 발생하여 막대한 경제적 손실뿐만 아니라 귀중한 인명을 앗아간 성수대교의 붕괴·낙하를 경험하였다.

용접부의 결함에는 형상결함, 내부결함, 균열 등으로 크게 나눌 수 있으며, 이들 결함 중에서 균열은 용접구조물의 손상파괴로 연결되는 가장 중요하며 치명적인 결함이라고 할 수 있다. 따라서 용접균열을 방지하는 것은 용접구조물의 설계, 시공 상 가장 중요하며, 또한 큰 과제라고 할 수 있다. 그러므로 용접부에서 발생하는 균열에 대한 종류, 현상 및 발생기구를 이해한다는 것은 균열 발생의 방지라는 관점에서 기초적으로 매우 중요하다고 할 것이다.

그러므로 본 기술강좌에서는, 용융용접(fusion welding) 부에서 발생하는 균열 현상 및 그 방지에 대한 개요를 용접금속학적인 관점에서 간략하게 설명하고자 하였다. 따라서 본 강좌는 비교적 교과서적인 기초적인 내용으로 이루어져 있음을 미리 밝혀두고자 한다. 그리고 본

강좌의 전체적인 내용은 크게 용접금속과 가스, 용접부의 고온균열, 저온균열 및 재열균열로 구성되어 있으며, 총 7 회에 걸쳐 연재할 예정으로 있다. 아무쪼록 본 강좌가 용접부에서 발생하는 균열에 대한 중요성의 인식과 함께, 균열에 대한 기초적인 접근을 통하여 균열 방지에 조금이라도 도움이 되었으면 하는 바램이다. 먼저 여기서는 용접부의 결함 형상에 기초적으로 영향을 미치는 용접부와 가스 성분과의 관계에 대해서 간략히 소개하고자 하였다.

1. 용접금속과 가스

용융용접에 의한 용접부를 매크로적으로 분류하면, 용접금속(weld metal), 열영향부(weld Heat-Affected Zone, weld HAZ, 이하 HAZ) 및 열영향을 전혀 받지 않은 모재(base metal)로 나눌 수 있다. 여기서 용접금속은 모재 또는 모재와 용접재료가 용융하여 급속 응고된 부분을 말하며, HAZ는 용접금속과 경계한 모재 부위로 일반적으로 모재에 비하여 조직, 경도 및 기계적성질 등이 현저하게 변화한 부분을 말한다. 이러한 HAZ는 탄소강 혹은 저합금강의 경우 대체로 Ac₁ 점(가열시의 A₁ 변태온도) 이상으로 가열된 부분에 해당된다. 그리고 용접금속과 HAZ의 경계부근은 용융경계부(fusion boundary)라고 하며, 이 용융경계부는 균열, 인성 및 내식성저하 등의 문제가 발생하기 쉽기 때문에, 용접성 및 결함평가의 관점에서 대단히 중요한 부분이라고 할 수 있다.

1.1 수 소

(1) 용접금속의 수소

일반적으로 금속의 경우 수소는 용해방법에 따라 침

입형(Fe, Ni, Cu 등) 또는 치환형(Ti, Zr, V 등)으로 고용하는 것과 수소를 용해하지 않는 것(Be, Mg, Al 등, 단 Al, Mg는 용융상태에서 다소 용해함)으로 분류할 수 있다. 강의 아크용접의 경우, 수소의 발생원은 주로 플럭스(flux) 중의 H₂O 등의 해리에 의한 것이며, Al 합금의 gas metal arc 용접(GMAW)의 경우에는 모재와 용가재 중의 용해수소 및 표면의 흡착수분, 보호가스 및 공기 중의 수분 등을 들 수 있다. 이러한 용접금속 중의 수소는 일반적으로 대부분이 확산성수소의 형태로서 존재한다는 것이 알려져 있다. 용접법과 용접재료에 따른 용접부의 확산성수소량을 개략적으로 나타내면 표 1과 같다. 확산성수소는 용접 후 시간의 경과와 더불어 방출되며, 용접조건에 의존하는데, 용접부의 냉각속도가 늦을수록 수소량은 감소한다.

표 1 용접부의 확산성 수소량의 예

용 접 법	분 위 기	확산성수소량 (cc/100g, Fe)
일반 SMAW (저수소계 제외)	대기 중	10~50
	수 중	30~70
저수소계 SMAW	대기 중	1~10
CO ₂ 아크용접	CO ₂	1~5
GMAW	Ar/Ar-O ₂	< 2
GTAW	Ar	< 1
모 재	-	0.1~0.5

(2) 강의 용접부에 미치는 수소의 영향

강은 수소를 포함하면 취화(hydrogen embrittlement)하며, 취화의 정도는 수소량이 많을수록 현저하다. 취화의 형태는 단면수축률(R.A.)과 신율(elongation)의 감소로서 나타나며, 하중속도가 대단히 빠를 경우에는 수소취성이 나타내기 어렵고, 늦을 경우에 현저하게 나타난다. 또 온도가 현저하게 낮아도, 또 너무 높아도 발생하지 않으며, 취성이 가장 크게 나타나는 온도는 하중속도가 증가하면 고온측으로 이동한다. 탄소강, 고장력강 및 저합금강의 경우, 용접 후 어느 정도 시간이 경과한 후에 용접금속 및 HAZ에서 균열이 발생하는 경우가 있는데, 이 균열은 수소에 기인하는 지연(delayed)균열이 대부분을 차지한다. 수소를 다량 포함한 용접금속 내에 길이가 수 10~수 100 μ m 정도의 다수의 미세균열(micro crack)이 발생하여 용접금속의 연성을 저하시키는 경우가 있다. 이 미세균열의 발생은, 냉각속도나 합금성분에 의해서 영향을 받는데, 일반적으로 수소가 많을수록 발생하기 쉽다. 미세균열의 발생

기구는, 비금속개재물의 주변이라든지 입계 등의 결합부에 수소가 집적한 결과 발생하는 것이라고 되어 있다. 은점(fish eye)이라는 것은, 용접금속을 파단시켰을 때, 파면에서 관찰되는 물고기의 눈과 같은 원형의 점으로서, 용접부에 수소가 존재하는 경우에 자주 관찰된다. 이것은 수소가 기공이나 비금속개재물의 주위에 집적하여 이 부분을 취화시키기 때문에 국부적인 취화 파면으로서 관찰된다. 또한 용접금속의 파단면에서 나타나는 좁고 긴 방향성을 가진 선상조직(線狀組織)도 수소에 기인하는 국부적인 취화파면으로 알려져 있다.

1.2 질 소

(1) 질소의 용해

용융철 중에 각종 원소가 첨가될 경우, 질소의 용해량을 증가시키는 원소는 V, Nb, Cr, Ta 등으로, 감소시키는 것은 C, Si 등이 있다. Fe-2 원계 합금의 GMA 용접금속의 질소의 용해량은, 분위기를 질소 1기압으로 한 경우에는 Ti, Zr, Nb, Mo, Cr, Mn의 함유량이 증가하면 질소의 양이 증가하며, C, Si가 증가하면 감소하는 경향을 보이는데, 이 결과는 용융철합금의 경우와 정성적으로 일치한다. 그러나 분위기가 대기압의 경우에는, 순철의 경우 질소의 용해량이 약 2 배 이상 많아진다. 그리고 Nb의 첨가는 일시 감소 후 점차 증가하며, C, Si, Al, Zr, Ti, Mn 등은 감소 후 거의 일정한 값을 유지한다. 용접 분위기에 의한 이러한 차이는 산소의 존재에 의한 것으로서, 용융지에 산소가 용해하면 산소 농도가 높은 용융철의 피복층이 용융지 표면에 형성되어 용해질소의 이탈을 방해하기 때문에 질소의 용해량이 증가한다고 하는 견해가 있다.

아크 용접금속 중의 질소량을 개략적으로 나타내면 표 2와 같다. 질소는 용접금속의 응고 후의 냉각과정에서는 거의 확산 방출하지 않기 때문에, 냉각 후의 용접금속에 포함되는 질소량은 응고 시에 포함되어 있던 질소량과 거의 같다고 할 수 있다.

표 2 용접부의 확산성 수소량의 예

용 접 법	질 소 량 (%)
아크용접(no flux)	0.14
SMAW	0.01~0.02
CO ₂ 아크용접, SAW	0.005~0.010
GMAW, GTAW, EBW	0.002~0.010
모 재	0.002~0.008

(2) 질소가 강의 용접부에 미치는 영향

강 중의 질소는 γ 영역에서 다량의 용해도를 가지기 때문에, 이 영역에서는 질소의 거의 전량이 용접금속 중에 있는 것으로 볼 수 있다. 그러나, 이 질소량은 실은 부근의 α 상의 용해도보다는 크다. 따라서 급냉된 경우에는, 그 후의 시효에 의하여 질화물로서 석출하며, 석출경화 등의 현상을 나타내게 된다. 이처럼 질소는 퀴칭시효 외에, 변형시효, 청열(靑熱)취성, 저온취성, 템퍼취성 등의 직, 간접적 원인이 된다. 또한 질소는 강의 용접금속의 기공발생의 주원인이 된다. 그러나 질소는 γ 계 스테인리스강 중에 비교적 다량(예: 0.1~0.3%N)으로 첨가하면, γ 상을 안정화하여 고온 및 저온에서의 기계적성질 및 내식성을 개선하기도 한다.

1.3 산 소

용융 철은 상당히 큰 산소 용해도를 가지고 있다. 그러나 응고한 고체 철에는 산소는 거의 용해하지 않고, 용해도는 δ -Fe에서 약 0.004%, γ -Fe에서 약 0.002~0.003%이며, 그 외는 산화물 등의 개재물로서 존재한다. 그리고 용융 철의 산소에 대하여, 제 3 원소가 공존하는 경우는, 그들 원소와의 탈산 평형의 관계로서 산소량을 구할 수 있다. 즉 용융철 중의 산소

는, 산소와 친화력이 강한 성분과 그 양에 의하여 산소의 용해도가 현저하게 감소한다. 용접금속은 응고속도가 빠르므로 잔류하는 산화물 등의 개재물은 일반적으로 그 크기가 작고 양은 많다. 일반적으로 피복용접봉에서는 탈산제가 충분히 첨가되어 있으므로 FeO의 양은 적고, 탈산 생성물인 산화물의 형태로 되며, 대체로 MnO, SiO₂ 등이 많다.

강재 및 용접금속 중의 산소량은 GTA 용접부에서는 극히 적은 값을 나타내며, 또 전자빔용접부는 진공 중에서 행하여지기 때문에 산소량은 모재와 거의 동등한 값을 가진다. 강재 및 용접금속 중의 산소량은 GTA 용접부에서는 극히 적은 값을 나타내며, 또 전자빔용접부는 진공 중에서 행하여지기 때문에 산소량은 모재와 거의 동등한 값을 가진다.



- 박화순(朴和淳)
- 1955년생
- 부경대학교 재료공학부
- 용접결합, 용접금속학, 표면개질학
- e-mail: parkhs@pknu.ac.kr