

이종금속간 용접 계면에서의 미혼합역 형성

이창희

Formation of Unmixed Zone in the Fusion Boundary of Dissimilar Metal Weld Zone

Changhee Lee

1. 서론

구조물은 일반적으로 사용 환경에 따라 스테인리스강, 탄소강, 주철, 합금강 등의 다양한 강재들로 구성되며, 이에 따라 구조물의 제작을 위해서는 이종금속간의 용접이 필수적으로 이루어진다. 이종금속간의 용접 시에는 동종금속간 용접 시와는 다른 미혼합역(UMZ: Unmixed Zone), 부분혼합역(PUMZ: Partially Unmixed Zone)의 형성에 따른 특성변화 및 기계적/화학적 특성저하가 발생한다.

이러한 이종용접은 현재 자동차 배기계, 발전소 설비를 중심으로 다양한 산업분야 적용되고 있고 있으나, 실제 사용 중에 기계적/화학적 특성저하에 따른 균열발생과 같은 많은 문제를 일으키고 있다. 한편, 이러한 이종용접부에 대한 연구는 그 산업적인 중요성에도 불구하고 국내외적으로 체계적으로 이루어지지 않고 있으며, 특히 국내에서는 미혼합역(UMZ) 및 부분혼합역(PUMZ)에 대한 연구가 거의 이루어지지 않고 있다.

따라서 이종금속간의 용접기술이 적용되고 있는 다양한 구조물의 안정성 확보를 위해 미혼합역 및 부분혼합역에 대한 연구가 필요한 실정이며 본 강좌에서는 이종금속간 용접 계면의 미혼합역에 대해 논의하고자 한다.

2. 본론

2.1 Formation of Unmixed Zone

이종금속간 용접은 용접재료와 모재의 합금성분이 다른 금속이 사용되거나 두 모재의 합금성분이 다른 금속이 사용된다. 이러한 이종금속간 용접 계면 근처에는 용착금속과는 화학성분, 미세구조 그리고 특성이 현저히 다른 영역이 형성된다¹⁾.

그중 대표적인 영역이 미혼합역이며, 용접 시 모재가 완전히 용융되었으나 용접재료와 혼합이 전혀없이 응고

한 영역이다. 따라서 미혼합역의 화학조성은 모재와 같으며 용융선을 따라 매우 좁게 형성된다²⁾. 이러한 미혼합역의 미세조직 및 성분분포를 아래 그림에 나타내었다.

미혼합역이 생성되기 위해서는 용착금속과 모재의 화학조성이 크게 달라야 한다. 그러나 일부 연구에서는 화학조성이 너무 크게 다른 경우 용융상태에서 용착금속으로부터 미혼합역으로 합금성분의 빠른 확산에 의해

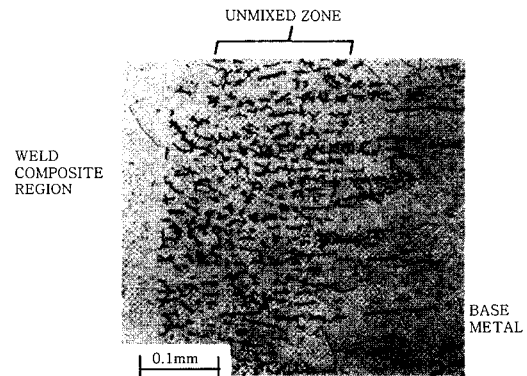


Fig. 1 Fusion boundary region of a Type 310/Type 304L GMAW-P weldment. $\times 200^3)$

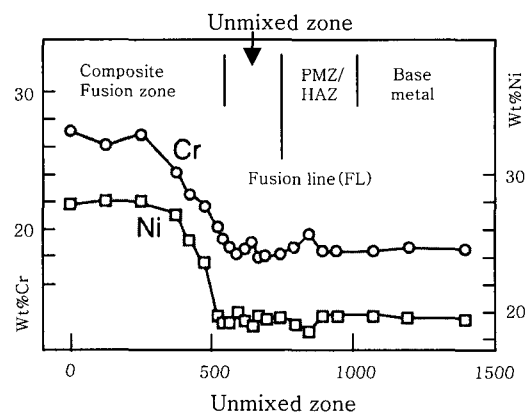


Fig. 2 Concentration profile of chromium and nickel across the weld fusion boundary region of a Type 310/Type304L GMAW-P weldment³⁾

미혼합역이 생성되지 않을 수 있다고 보고되고 있다⁴⁾.

미혼합역은 대부분 이종금속간 용접에서 용접재료와 모재의 조합에 관계없이 형성된다. 그러나 미혼합역의 넓이는 용접재료의 화학성분과 녹는점과 같은 물리적 특성 등의 다양한 용접 변수에 의해 영향을 받는다^{5,6)}. 이와 관련하여 Matthews와 Savage는 미혼합역이 용접재료의 녹는점이 모재의 녹는점과 비슷하거나 더 높을 때 더 쉽게 형성된다고 제안하였으며, Lundin과 동료 연구자들이 실험을 통해 이를 증명하였다. 또한 용접 방법에 의해서도 변화되는데, Lukkari와 Moisis의 연구에서 가장 넓은 미혼합역은 SMAW, 가장 좁은 미혼합역은 짧은 아크를 가지는 GMAW로 용접했을 때 얻었음을 알 수 있다. 이러한 결과를 통해 미혼합역의 넓이는 입열량과 침투깊이가 증가할수록 커지는 것을 알 수 있다.

2.2 Evaluation Techniques of Unmixed Zone

미혼합역을 확인하기 위해 일반적으로 화학적 에칭이 사용된다. 그러나 이러한 방법을 사용하기 위해서는 알맞은 에칭액을 선정하는데 주의를 기울여야 하는데, 이는 미혼합역이 주변의 HAZ부와 같은 합금성분을 갖기 때문에 적절하지 못한 에칭액을 사용하는 경우 미혼합역이 구분되지 않거나 HAZ부가 미혼합역으로 잘못 구분되는 경우가 발생할 수 있다.

에칭된 시편의 미혼합역과 HAZ부의 형상의 차이는 미혼합역의 응고 미세조직의 확인을 통해서 이루어질 수 있다. 따라서 응고 미세조직으로부터 편석이 이루어졌음을 보여줄 수 있는 특정 성분에 민감한 에칭액을 선택하는 것이 중요하다. 또한 광학현미경을 통한 관찰과 EDS를 통한 합금 성분 분포의 분석이 가능한 주사전자현미경(SEM)의 이용을 병행하여 미혼합역을 확인하는 것이 일반적인 방법이다⁵⁾.

2.3 Mechanical/Chemical Properties Deterioration by Unmixed Zone

용접 계면에 생성된 미혼합역은 주변 용접부와는 불연속성으로 인해 기계적/화학적 특성의 저하가 발생한다. 용접 시 미혼합역은 모재의 빠른 용융과 급속한 냉각으로 인해 수지상 조직과 같이 기존의 모재와는 전혀 다른 미세조직을 갖게 되고 또한 편석과 같은 문제로 인해 기계적 특성의 저하가 예상된다. 그러나 기계적 특성 저하의 경우 미혼합역의 폭이 매우 좁게 형성되는 관계로 연구자들에 의해 연구가 잘 이루어지지 않고 있다. 단지 경도 변화에 따른 기계적 특성 변화만 지금까지

지 연구되어 졌다.

이와 대조적으로 미혼합역의 화학적 특성 저하에 따른 내부식성의 저하에 대한 연구는 많은 연구자들에 의해 꾸준히 이루어져왔다. 현재 많은 분야에서 화학적으로 열악한 환경에 사용되는 구조물의 내부식성을 향상시키기 위해 다량의 폴리브덴, 크롬, 니켈 그리고 질소를 첨가한 금속재료들이 사용되고 있다. 그러나 이러한 금속재료들은 모재와 용접재료 각각의 우수한 내부식성에도 불구하고 서로 용접하였을 때 미혼합역이 발생하게 되고, 그로인해 내부식성을 향상시켜주기 위해 첨가된 원소들의 편석이 발생하게 된다. 이러한 편석이 발생하는 경우 미혼합역 내에서 합금원소의 농도가 부식을 방지할 수 있는 양보다 적은 부분이 국부적으로 발생하게 되고, 따라서 미혼합역에서 우선적으로 부식이 일어나게 된다.

위에서 언급한 것과 같은 미혼합역 생성에 따른 기계적/화학적 특성 저하를 방지하기 위해 많은 연구자들이 미혼합역의 생성을 억제시키기 위한 연구를 진행하고 있다. 그 중 대표적인 예가 Cui와 동료 연구자에 의해 제안된 초음파 진동을 이용한 미혼합역 생성 억제 연구이다⁸⁾.

3. 결 론

구조물의 안정성과 경제성을 동시에 만족시키기 위해 이종금속간 용접의 비중이 커지고 있는 만큼 용접부의 성능을 최적화시키기 위해 미혼합역의 연구가 더욱 필요하다. 그러나 앞서 설명했듯이 미혼합역은 그 폭이 매우 좁고 HAZ부와는 구분이 어려운 관계로 아직 많은 연구가 이루어지지 못하고 있다. 특히 미혼합역 생성에 따른 기계적 특성의 저하에 대한 연구가 매우 필요한 실정이다. 또한 미혼합역 생성 방지를 위한 연구도 필요한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Sindo Kou : Welding metallurgy 2nd edition, Wiley-Interscience (2003)
2. 용접·접합편람, 대한용접학회, (1998)
3. W. A. Baeslack, III, J. C. Lippold, W. F. Savage : Welding Journal, **58**, (1979), 168s-176s
4. M. D. Rowe, T. W. Nelson, J. C. Lippold : Welding Journal, **78**, (1999), 31s-37s
5. C. D. Lundin, W. Liu, G. Zhou, C. Y. P. Qiao : Unmixed zone in arc welds: Significance on corrosion resistance of high molybdenum stainless steels, WRC Bulletin 428, (1998)
6. L. Karlsson, H. Arcini : Processes and materials: Innovation stainless steel, Florence, Italy, (1993),

3.273-3.278

7. C. Pan, Z. Zhang : *Materials Characterization*, **36**, (1996), 5-10
8. Y. Cui, C. L. Xu, Q. Han : *Scripta Materialia*, **55**, (2006), 975-978



- 이창희 (李昌禧)
 - 1956년생
 - 한양대학교 신소재공학부
 - 용접 야금 / 표면개질
 - e-mail : chlee@hanyang.ac.kr
-