HSLA-100강의 용착금속 저온균열의 미세조직 특성

Microstructure characteristics of cold crack in HSLA-100 weld metal

김희진*, 강봉용*, 유희수*, 박영록*
* 한국생산기술연구원

1. 서 론

용접부의 저온균열은 열영향부 또는 용착금속부에서 발생하는데, 열영향부에서 발생하는 저온균열에 대해서는 많은 연구가 수행되어 체계적인 접근이 가능하게 되었다. 용접열영향부의 저온균열 감수성은 예열온도로 평가되는데, 용접예열온도는 모재의 탄소당량, 용접재료의 확산성수소량 및 개선 형상 등에 의해 영향을 받는 것으로 보고 되고 있다. 특히 열영향부에 있어서는 미세경도가 높을수록 저온균열이 발생하기 용이하기 때문에, 탄소당량을 낮추고 미세경도의 상승을 억제하는 방향으로 강재 개발이 이루어 졌다.
그러나 용착금속에서 발생하는 저온균열에 대해서는 그다지 많은 연구가 수행되지 않았으며, 이에 영향을 주는 인자에 대해서도 체계적인 연구가 수행 되지 못하였다. 따라서 본 발표에서는 HSLA-100강 용접부를 대상으로 하여, 고강도 용착금속부 저온균열 특성에 대해 보고하고자 한다.

2. 실험방법

본 실험에 사용된 시편은 60°의 개선각을 가진 V-그루브 형상의 HSLA-100강이다. 분석에 사용된 용접시편은 메탈코어드(metal cored)용접와이어에 의해서 용접된 다층용접부의 최종 비드로부터 얻어졌다. 용접용 판재는 두께 25mm인 연강판을 사용하였으며, 용접부의 형상은 그림 1에 보인 것과 같다.
실험은 75, 100, 125℃의 세 가지 온도로 층간 예열온도를 다르게 유지하며 행해졌다. 시험온도의 범위는 ±5℃로 유지되었다. 다음 표 1은 용접조건 및 재료의 화학적 성분을 나타내었다.

Table 1. Welding condition for HSLA-100 steel

Base metal	HSLA-100(25mmt)
Welding method	SAW
Welding wire	0.14C-Mn-Ni-Cr-Mo
Flux	[H] $_{D\text{-}GC}$=7.1ml/100g
Heat input	1.8kJ/mm
Interpass temp.	75, 100, 125 ℃

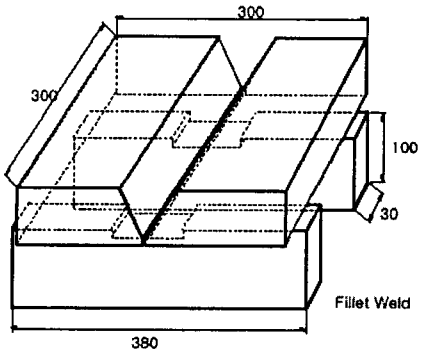

Fig. 1. Preparation of base plates for multipass weld metal cracking test.

광학현미경에 의한 미세조직 관찰을 위하여 용접부의 단면으로부터 채취된 시편을 연마한 후 2%질산용액을 사용하여 부식시켰다. 용착금속부는 그림 2에 보인 것처럼 총 11층의 용접비드를 형성하였다. 이렇게 생성된 용접부를 T방향 및 R방향으로 절단한 후 연마하여 층간온도에 따른 저온균열의 형상을 관찰하였으며, 관찰된 저온균열부위에 대하여 미세경도(Hv)를 측정하여 저온균열 감수성과 미세경도와의 상관관계를 비교하였다.

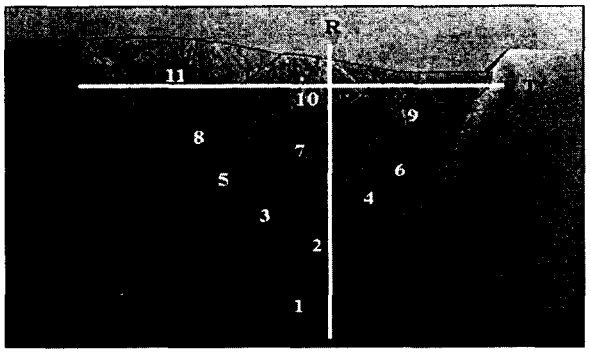

Fig. 2 Transverse cross-section of Welded joint: build-up sequence of weld beads surrounded by tempered bands and location of cutting plane

3. 결과

3. 1. 예열온도의 효과

HSLA 강은 용접성이 매우 우수하기 때문에 일정두께 이하에서는 무예열 용접이 가능하다. 실제로 확산성수소량이 낮은 GMA용접에서는 예열온도를 15℃ 이상으로 추천하고 있다. 그러나 확산성수소량이 높은 서브머지드 아크용접(SAW)에서는 HY-100강에 적용하였던 예열기준을 그대로 적용하도록 권고하고 있다. 이는 예열온도가 충분치 못한 경우에 루트부 용착금속에서 균열이 발생하기 때문이다. 따라서 HSLA-100강에 있어서는 예열온도 조차도 용착금속부(초층)를 기준으로 설정되어야 한다. 이러한 예열온도를 적용하여 초층용접이 완료되면 다음 패스에 필요한 층간온도는 어느 정도 낮은 수준으로 유지하여도 무방할 것이다.

예열온도가 증가함에 따라 단위구역당 저온균열의 밀도는 감소한다. 그림 3은 50mm의 길이에서의 균열의 수를 온도에 따른 변화를 정량적으로 나타낸 것이다. 75℃의 예열온도에서 보면, 7번째 비드에서 균열은 6개이고 10번째 비드에서 18개이다. 그리고 125℃의 예열온도를 가한 용접부에서도 3-7개 정도의 균열이 발생된 것을 알 수 있다. 실제의 용접에서는 이 균열을 없애기 위하여 후열처리를 행하게 된다.

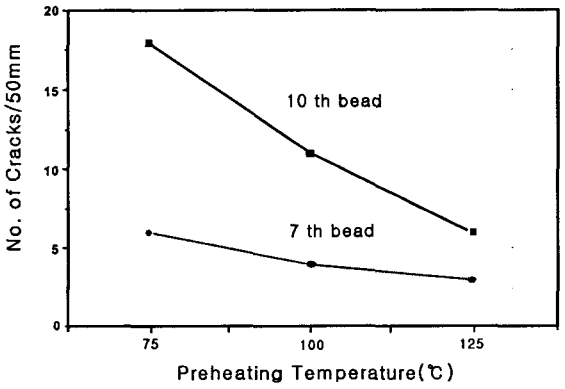

Fig. 3. Effect of preheating temperature on crack density

3. 2 미세조직과 미세경도와의 관계

용접금속을 절단하여 관찰한 결과 저온균열은 용접방향에 수직으로 발생한 것을 알 수 있다. 균열과 경도값과의 관계를 규명하기 위하여 그림 2의 T-section을 절단한 후 연마하여 9, 10, 11번째의 비드층을 관찰하였다. 그림 4에서 보듯이 비드층은 fusion boundary들과 tempered band들이 선명하게 관찰되었고, 용접방향에 수직인 균열들이 관찰되었다. 저온균열의 형성에 경도값이 어떠한 영향을 미치는지를 알아보기 위하여 이 표면에 수직인 방향으로 미세경도 측정을 실시하였다. 미세경도 측정은 보다 정확한 측정을 위해 0.5mm 간격으로 행해졌다. 측정이 끝난 후 이 결과는 그림 4에서와 같이 오버랩시켜서 표현하였다. 이 그림은 최종 비드의 fusion 영역으로부터 시작하여 재결정된 HAZ-WM과 10번째와 9번째 비드에 형성된 tempered band를 지나 반대편의 기지금속까지의 값을 보여준다.

일반적으로 재결정된 HAZ-WM 영역에서는 340Hv나 그 이상의 값이 나타난다. 이 값은 tempered band에 이르면 급격히 떨어져서 최하의 경도값을 나타낸다. 그런 다음 fusion 영역에 이르면 증가하게 된다. 그리고 그림 4에서 균열 B를 보면 균열의 한쪽 끝은 경도가 낮은 곳에 위치하고 다른쪽 끝은 경도가 높은 곳에 위치하

여, 경도가 점차 증가하는 지역에 가로 놓여 있어서, 경도값에 크게 의존하지 않음 알 수 있다. 미세경도가 저온균열의 주요인이라면 재결정된 HAZ -WM 영역에서 많은 균열이 발생할 것이다. 그러나 균열은 높은 경도값을 가진 이 영역에서 관찰되지 않았다. 그러므로 경도값은 저온균열과 큰 상관관계를 가지지 않는다. 미세조직에서 확실한 차이점 중의 하나는 균열역역은 원주형입자(columnar grain)로 구성된 조직을 가지고, 균열이 없는 영역은 재결정된 조직을 가진다.

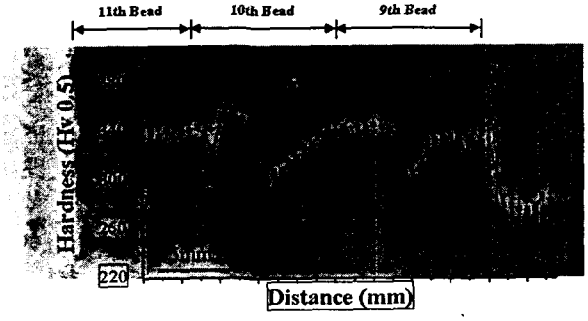

Fig. 4. Microhardness profile overlapped on the corresponding macrograph. (at 100℃, T-section).

한편 Wildash 등은 용착금속부 미세조직을 구성하고 있는 각각의 세부조직에 대해 수소유기균열에 대한 저항성을 평가하였는데, 전체조직에서 입계페라이트의 양이 감소할수록 그리고 비금속개재물이나 MAC조직(martensite/austenite carbide)의 양이 증가할수록 저항성이 향상되었다고 보고하였다. 이들은 이와 같은 실험결과를 토대로 하여 새로운 용접재료를 설계하고, 기존 재료와 비교 평가함으로써 미세조직 제어에 의해 강도증가 뿐만 아니라 저온균열에 대한 저항성도 동시에 향상시킬 수 있음을 보여주었다.

4. 결 론

1) 고강도 용착금속은 다양한 미세조직이 혼재되어 있고, 이들 미세조직은 서로 저온균열에 대한 감수성에 차이가 있다.

2) HSLA-100강의 용착금속부에서는 미세경도와 저온균열 감수성 사이의 상관관계가 인정되지 않았다.

참고문헌

1. D. W. Moon, R. W. Fonda and G. Spanos: *weld. J.*, 79(2000), 278-s.
2. R. W. Fonda and G. Spanos: *Metall. Mater. Trans.* A, 31A (2000), 2145
3. C. Wildash, R. C. Cochrane, R. Gee, D. J. Widgery: Microstructural factors affecting hydrogen induced cold cracking in high strength steel weld metal, Proc. of the 5th Int. Conf. on Trends in Welding Research, Georgia, USA, June 1998, 745-750