

Silo의 Skirt 이종 용접시 Zn-rich primer가 용접부에 미치는 영향

• 김해수 유진수 강석순 김현일(삼성중공업(주) 기계사업본부 생산기술개발팀)

Influence of Zn-rich primer on the dissimilar materials(SUS304+SS400) welding of silo's skirt

• H. S. Kim, J. S. You, S. S. Kang, H. I. Kim

1. 서 론

용접부에 저용점원소인 Cu, Pb, Zn, Ag, Sn, Cd 등이 혼입되면 용융금속의 응고 도중에 크랙이 유발된다고 알려져 있다. 특히 결정립계의 밀도가 상대적으로 낮아서, 결정립계에 이들 저용점 원소의 편석이 심화될 수 있는 완전 오스테나이트계 합금에서는 민감하게 나타난다고 한다. 한편 울산 삼성석유화학 3공장의 Silo 제작 공사 중, Base(SS400)와 Skirt(SUS304)의 필릿 이종재용접시에(Fig. 1 참조) Base가 창원 공장에서 절단되어 울산의 공사 현장으로 투입되는 동안, 부식되는 것을 방지하기 위하여 표면에 Zn-rich primer가 75 μ m 두께로 도포되어 있음으로 인하여, 엔지니어링사였던 CHIYODA社(일본)로부터 Zn-rich primer의 주성분인 Zn이 용접부에 크랙을 유발한다.는 주장이 있었기에 Zn의 정확한 거동과 영향을 파악하고자 하였다. 즉 이러한 배경으로, 실제 공사에서 부식 방지용 Zn-rich primer를 SS400의 표면에 도포한 상태에서 SUS304와의 이종재 용접함으로 야기될수 있는 문제와, Zn-rich primer의 주성분인 Zn이 용접부에 어떠한 영향을 미치는가를 파악하여 Zn-rich primer에 대한 용접 시공 기준을 마련하고자 하였다.

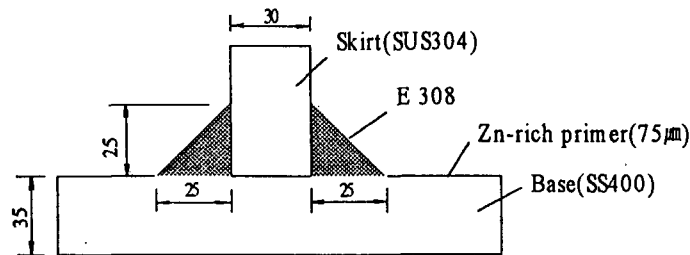


Fig. 1 현장 용접 조건

2. 본 론

Zn-rich primer는 무기(inorganic zinc rich p.) 및 유기(organic zinc rich p.)로 구분되며, 방청효과를 위해서는 주로 막 두께 50 μ m 이상 칠한다. (Table 1)

Table 1. Composition of Zn-rich primer

Components	Composition(wt%)	
	organic Zn-rich primer	inorganic Zn-rich primer
Zn powder	75.0	70.0
Epoxy	15.0	-
Silicate	-	20.0
Solvent and others	10.0	10.0
Type of solvent	Ester, Ketone	Alcohol

Zn이 용접부에 미치는 영향으로써는 첫째로 저융점인 Zn에 의한 고온크랙을 생각할 수 있다. Zn에 의한 용접부의 크랙은 고온크랙(Hot Cracking)의 형태로써 용접직후 바로 나타나는 특징을 갖고 있으므로 용접후에 용접부가 충분히 냉각되었을 때 UT 또는 RT를 실시하여 크랙이 검출되지 않으면 차후 새로게 크랙이 발생되지 않는다고 볼수 있다. 즉 Zn은 치환형 형태의 고용체로써 상온에서 확산은 거의 일어나지 않기 때문에 확산성수소와 같이 시간이 경과함에 따라 결정립계나 재료물의 주변에 편석됨으로 인한 유기 크랙은 일으키지 않는다고 볼수 있다. Zn에 의해 발생하는 용접부의 고온 크랙의 직접적인 기구으로써는 고용점의 모재가 응고한 뒤 냉각수축되는 동안에도 여전히 기상 또는 액상으로 존재하는 Zn 및 Zn-산화물의 편석 선단부가 노치로 작용하는 가운데 용접금속의 응고 및 냉각 수축력이 더해져서 크랙이 발생된다는 것이다.

둘째로 Zn이 용접부에 미치는 또다른 영향은 기공형성이다.

3. 시 험

Zn이 편석이나 기공을 유발시켜 용접부의 기계적 성질을 저하시키는지, 아니면 고루 분산되어 강도의 향상을 보이게 할지 또는 기화되어 용접부 밖으로 완전히 방출됨으로써 용접부에 아무런 영향도 주지 못하는지를 알기 위하여, Zn-rich primer를 SS400 표면에 칠한 조건과 칠하지 않은 조건으로 구분하여 각각 용접한뒤 그 물성치를 비교해 보았다.

3.1 시험편

시험에 사용된 재료는 실제공사에 사용되었던 SUS304와 SS400의 잔여분을 그대로 이용하였다. 화학적 성분 및 기계적 성질은 Table 2와 Table 3에 나타내었다.

Table 2. Chemical composition of specimens (wt %)

Material	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Others
SUS304	0.04	0.8	1.2	0.04	0.03	19.0	9.2	-	-
SS400	0.3	0.4	0.2	0.04	0.04	-	-	-	-

Table 3. Mechanical properties of specimens

Material	Tensile strength kgf/mm ²	Elongation %
SUS304	57	43
SS400	46	32

Table 4. Preparation of specimens³⁾

Material	Thickness(mm)	Size(mm)	Quantity(EA)
SUS304	30	450 × 200	20
SS400	35	450 × 200	20

note)

- 1), 2) → 공사의 시공지시서에는 SS400의 표면이 청결한 상태를 유지하도록 되어 있었으나 자재의 준비 운송 과정에서 primer를 표면에 칠하게 되었음.
- 3) → 필릿 용접시험편은 SUS304+SS400이 1 set로 구성 됨.
비교를 위하여 6 sets는 Zn-rich primer를 75 μ m 두께로 칠하였고 4 sets는 칠하지 않았음.

3.2 용접재료

실제공사에 사용되었던 오스테나이트계 스테인레스강과 탄소강의 이종 용접에 주로 사용하는 AWS 규격 E309-16을 선택하였으며 용접부의 성분과 기계적성질을 Table 5와 Table 6에 나타내었다.

Table 5. Chemical composition of weld metal

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
0.07	1.30	0.75	0.02	0.008	23.9	12.85

Table 6. Mechanical properties of weld metal

Tensile strength kgf/cm ²	Elongation %
60	39

Table 7. Condition of welding test

	consumables	current (A)	voltage (V)	process	consumables Dia.(mm)
Zn-rich primered	E309-16	110 - 220	22 - 27	SMAW(AC)	root pass : 4Φ 1) remainder: 5Φ
as cleaned	E309-16	110 - 220	22 - 27	SMAW(AC)	root pass : 4Φ remainder: 5Φ

note)

- 1) → 초층(root pass) 용접에 4mm의 봉경을 선택한 것은 용입을 깊게 하기위한 것이며, 나머지 층에 5mm의 봉경을 사용한 것은 작업능률을 향상시키기 위한 것이었음.

3.3 용접시험

용접시험은 용접부에 구속 조건을 크게 부여하여 Zn에 의한 고온크랙을 충분히 유도하고자 하였다. 즉 필릿 형태의 시험이 용접에 의해 자유롭게 각변형을 일으킴으로써 잔류응력의 조건이 완화되는 것을 방지하기 위하여 보강재(stiffener)를 용접하여 구속시킨 뒤 시험 용접을 실시하였으며, 용접 조건은 공사에 적용되었던 WPS의 내용에 따랐다. 일반적으로 이종재 용접일 경우에는 AWS의 재질 분류기준인 P No.가 높은 것을 기준하여 예열 조건을 맞추도록 규정되고 있지만, 본 경우와 같이 오스테나이트계 스테인레스강(PNo. 8)과의 이종재 용접시에는 PNo.가 낮은쪽을 기준으로 하여 예열을 실시하도록 규정하고 있다.

예열은 WPS에서 제시한 조건(50℃~250℃) 가운데 비교적 높은 온도인 200℃를 선택하였는데 이는 기타 원소(H, H, O)들의 영향을 최대한 피하기 위한 이었다. 층간온도는 100℃로 비교적 낮은 온도로 하여 용접부가 열이력을 크게 받도록하여 잔류응력 조건을 크게하고자 하였다. Table 8에 AWSCode에서 제시하는 P No.1과 P No.8에 대한 예열 및 층간온도의 범위를 표시하였다.

Table 8. Preheating and interpass temp.

P - No.	Thickness range	Preheating and interpass temp.
P 1	25 < T ≤ 50	50℃ ~ 250℃
P 8	-	10℃ ~ 150℃

4. 시험 결과

용접시험편의 결합 형태가 필릿이어서 시험편 그대로는 UT나 RT를 실시하기 어려웠기 때문에 용접한 그대로 PT만 실시하였고 UT와 RT 그리고 기계적시험을 위해서 용접부를 별도로 가공하였다. 우선 비파괴 시험의 결과를 Zn-rich primer를 칠한 것과 칠하지 않은것으로 구분하여 Table 9와 Table 10에 나타내었으며 기계시험 결과는 Table 11과 Table12에 각각 나타내었음

Table 9. NDE Results (Zn-rich primer)

specimens (No.)	Penetrant test	Ultrasonic test	Radiographic test
1	no defects	little(blow-hole)	little(blow-hole)
2	no defects	no defects	no defects
3	no defects	no defects	no defects
4	no defects	no defects	no defects
5	no defects	little(blow-hole)	little(blow-hole)
6	no defects	no defects	no defects

Table 10. NDE Results (not Zn-rich primer)

specimens (No.)	Penetrant test	Ultrasonic test	Radiographic test.
7	no defects		
8			
9			
10			

Table 11. Results of mechanical test (Zn-rich primer)

specimens (No.)	Bending test	Tensile strength kgf/cm ²	Elongation (%)
1	tore	56.0	36.8
2	sound	57.7	35.9
3	sound	56.9	36.8
4	sound	55.7	35.3
5	sound	56.6	36.2
6	sound	58.1	36.4

Table 12. Results of mechanical test (not Zn-rich primer)

specimens (No.)	Bending test	Tensile strength kgf/mm ²	Elongation (%)
7	sound	58.2	40.9
8	sound	58.3	34.4
9	sound	60.0	39.2
10	sound	58.3	35.5

이상의 시험 결과에서는 Zn-rich primer의 영향이 크랙으로는 나타나지 않았고 (실제공사에서도 크랙은 검출되지 않았음) 다만 blow-hole의 발생 가능성은 있는걸로 나타났다. 용접사의 감각을 통해서도 용접열에 의해 Primer의 아연과 유기물의 산화가스가 용접금속을 차고 나음을 느낄수 있었다. 그러나 기공형성에 관련된 문제는 대부분의 primer에도 적용되는 공통 문제이며 Zn-rich primer만이 안고 있는 문제는 아니다. 그리고 primer에 의한 용접부의 기공형성은 용접사의 기량에 의해 크게 좌우되기도 하는데 이를 표현하면 용접속도를 느리게하고 용착량을 작게 적용하는 방법 등이다. 한편 기계적 시험의 결과를 비추어 볼때 그다지 뚜렷한 차이는 발견할수 없었다.

5. 결 론

용접부의 표면에 칠해진 Zn-rich primer의 영향이 오스테나이트계 스테인레스강의 용접에서, 크랙의 발생 요인으로써 민감하게 작용한다고 관심을 모으고 있다. 이는 스테인레스강이 탄소강 보다도 열전도율이 낮아서 같은 입열에도 용접부가 고온에서 머무르는 시간이 길어서 고온 크랙을 일으킬수 있는 시간적 기회가 크고, 결정구조적인 측면에서도 결정입내에 비해 결정립계의 공공의 무피분율이 적어서 그만큼 아연과 같은 계재물의 편석도를 크게하기 때문이다. 한편 사용온도가 400℃ 이상인 용접구조물에서 액상 Zn에 의한 유기크랙이 발생된 사례도 있지만 이러한 관심은 미세적인 차원에서 거론될수 있는 요인이므로 가혹한 사용환경이 아닌 경우에는 그다지 문제가 되지않는다. 즉 이는 Zn의 용융점(419℃)과 끓는점(907℃)이 상대적으로 매우 낮아서 용접시에 아크의 고열에 의해 대부분 큰 활동성을 갖고 용접금속을 탈출해 나가기 때문이다. 그러나 원자력 설비나 LNG 저장탱크 등과 같이 그 안전성이 극히 엄격하게 요구되는 용접구조물의 용접시에는 Zn의 혼입을 막을 필요가 있다고 본다. 이상의 연구결과에 비추어 Zn의 용접부에서의 거동은 결함을 유발시킬수 있는 가능성은 내포하고 있지만 본 실험에서는 기공과 그로 인한 2.5% 정도의 기계적성질의 감소가 있었다. 부식 목적으로 칠되는 Zn-rich primer의 두께(70μm)로써는 Zn의 함량이 그다지 많지 않으므로 용접부에 미치는 영향은 작다고 볼수 있으며 현장용접시에는 기공발생에 주의하도록 제시한 조건을 지켜 용접하면 된다고 본다.

참고문헌

- 1)ASM : "Metals Handbook " Volum n 6 Welding Brazing and Soldering(1971), p321
- 2)SAM : "Metals Handbook' Volumn 11 Failure Analysis and Prevention(1971), pp.236-244
- 3)삼성중공업 : "도장일반 및 작업 표준"(1983)