

Reducing Socket 용접부의 균열 발생원인

A Study on the Crack of Reducing socket Weldment

권택규, 한기형, 이은배, 한종만
선박 해양 기술 연구소
대우 중공업 주식회사, 경상남도 거제시

1. 서론

Reducing socket의 Fillet 용접부위에서 수압 시험 도중에 균열에 의한 누수가 발생하였다. 균열이 발생한 High pressure cleaning out system은 Stainless steel(SUS304)로 된 Reducing socket과 일반탄소용강(S45C)으로 된 Socket과 Fillet용접으로 결합되는 부분이며, 특히 이중금속간의 용접이 되는 부분으로 각별한 주의를 요하는 부분이다. 또한 Reducing socket은 Stainless steel Pipe와 용접으로 연결되어 있다. 실제 제작과정을 보면 High pressure cleaning system은 Tee와 Socket이 결합된 후에 Galvanizing처리된 Reducing socket은 진수단계에서 out Socket과 Fillet 용접이 행해지게 된다.

용접이 완료된 후 설계 압력 180bar하에서 수압시험도중 3bar의 압력에서 누수가 발생하였으며 누수부위에서 균열이 발견되었다. 당실에서는 이의 원인 규명을 위해 Crack이 발생한 Reducing socket에서 시편을 채취하여 각 부위별로 분석을 시행하였다.

2. 모재 특성 조사

균열이 발생한 Reducing socket은 인발에 의해 제조된 오스테나이트계 스테인레스강(JIS SUS304)이다. 균열의 원인을 조사하기 위해 우선 모재의 화학성분과 경도치를 측정하여 JIS에서 규정한 Spec.과 상호 비교하여 보았다.

2.1 모재의 화학성분

모재의 화학성분은 Emission Spectrometer로 조사하였고 JIS G 3447 SUS 304 TBS 강관과 Table 1과 같이 상호 비교해 보았다. Reducing socket의 모재 화학성분은 JIS 규격중 인(P)의 함량이 다소 많은 것을 제외하고는 JIS를 만족하고 있다.

Table 1. Chemical composition of Base material

(Unit : wt%)

ITEM	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	MoCu
SUS 304 TBS	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.040	≤ 0.030	8.00 ~ 11.00	18.00 ~ 20.00	
Reducing Socket	0.062	0.738	1.508	0.045	0.004	9.153	18.285	0.074

Vickers 경도 시험을 통해 모재의 경화정도를 측정하였으며 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 또한 균열이 발생한 부위와 발생하지 않은 부위에 대해 각각 경도치를 내경으로부터 0.5mm 간격으로 측정하였으며 측정결과를 Fig. 1에 나타내었다. 균열이 발생한 부위의 경도치는 균열이 발생하지 않은 부위에 비해 20Hv 정도의 높은 경도분포를 보여주고 있다. 특히 외경 표면부에서는 최대 318Hv 까지의 높은 경도치를 나타내고 있으나 이는 용접전 Zn-Galvanizing 처리된 표면부를 제거하기 위해 사용한 화염과 시편의 절단에 의해 사용된 Grinding 처리에 의해 표면 부위의 경도가 상승된 것이 주요 원인이며 이러한 정도의 경도치는 균열을 발생시킬 수 있는 경화정도를 나타낸다고는 할 수 없다. 따라서 Reducing socket의 P 함량의 규격 초과 및 시험결과 나타난 경도치는 균열의 주원인으로 볼 수 없다.

3. Crack 원인 조사

3.1 파단 양상 고찰

Photo.1에는 균열이 발생한 Reducing socket의 매크로 사진을 나타내었다. 또한 Fig.2에 Crack이 발생한 High pressure cleaning out system의 개략적인 도면을 나타내었다. 사진에서 보는 바와 같이 균열은 외경과 내경 표면부위에서 각각 시작하여 내부에서 연결되고 있다. 수압 시험시 설계 압력 180bar에 도달하기전 3bar에서 누수가 되었다면 3bar의 압력은 Crack을 발생시킬 수 있는 압력은 아니며 이미 수압시험전 균열이 존재하였음을 의미한다. 또한 Fig. 2에 나타난 균열의 전파 형태를 살펴보면 용접전 도금된 Zn 층을 화염으로 태우거나 Grinding한 용접부와 부근의 부위에 한정되어 균열이 발생하고 균열은 전체 Reducing socket에는 전파되지 않았다. 따라서 열영향에 의해 균열이 발생한 것으로 판단된다.

3.2 미세조직 관찰

Photo. 2에는 균열이 발생된 부위의 시편을 절단후 시편연마를 거쳐 Oxalic acid로 전해 부식한 후의 미세 조직사진을 나타내었다. 균열의 형상은 Grain boundary를 따라 발생한 입계 균열의 형태를 보이고 있으며, 이러한 양상을 보이는 오스테나이트계 Stainless steel의 입계 균열의 원인은 열이력에 의한 입계에 취약한 석출물의 생성에 따라 발생하는 경우가 대다수이다. 또한 균열이 발생한 파단면의 파면 양상을 관찰하기 위해 균열 부위를 액체 질소에 냉각시킨 후 시편을 강제 파단하여 파면을 관찰하였다. Photo. 3에 나타난 파면은 미세조직 관찰에서와 같이 취약한 전형적인 입계파면(Intergranular fracture)을 보이고 있다.

Reducing socket에서 발생한 균열의 경우에 비해 Galvanizing 처리가 되지않은 S45C Socket 와 SUS 304 Reducing socket의 용접부위에서는 균열이 발생하지 않았다. 또한 도금 처리한 SUS 304 Reducing socket와 SUS 304 Pipe의 용접시 도막제거를 위해 Grinder를 이용하였으며 Grinder 를 사용할 수 없는 내경은 화염을 사용하여 작업을 하고 있다. 또한 알려진 바에 따르면 Zn 도막 층에 용접(420℃) 이상으로 가열되면 도막층의 Zn은 강의 입계를 따라 확산하여 Fe와 반응, Fe-Zn의 취약한 중간상(Intermetallic compound)를 형성하여 입계를 따라 Network를 형성하여 강의 균열을 발생시킨다.

또한 일반적으로 오스테나이트 스테인레스강은 고온 분위기(450-850℃)에서 장시간 사용시 입계부식이 발생되어 파단이 발생할 가능성이 매우 높은 특성을 갖고 있다. 이는 Fig. 3에 나타난 것과 같이 600℃ 이상의 열처리후 서냉은 C의 확산에 의해 입계에 Cr₂₃C₆의 석출상을 조장하며 이는 부식 분위기하에서 입계(Grain boundary)를 따라 균열을 발생시킨다. 발생된 오스테나이트계 스테인레스강의 균열은 고온에서의 장시간 사용과 부식분위기가 아닌 점을 고려하면 입계부식의 가능성은 매우 작아지게 된다.

따라서 균열의 발생원인은 Zn도막층의 Zn가 고온으로 가열됨으로써 Reducing socket 내부로 확산되어 입계에 취약한 화합물이 석출된 후에 용접에 의한 열응력의 작용으로 입계균열의 형태로 발전한 것으로 판단된다.

4. 결론

수압시험중 균열이 발생한 SUS 304 재질의 Reducing socket를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) SUS 304 재질의 Reducing socket는 모재의 화학성분 조사결과 P의 함량이 다소 Spec.을 상회하나 JIS 규격을 만족하고 있다.
- 2) 균열의 발생원인은 화염에 따른 Zn 도막층의 Zn의 확산에 의해 입계에 Fe-Zn의 중간상의 생성과 용접시의 열응력에 의해 입계를 따라 발생한 것으로 판단된다.
- 3) 오스테나이트계 스테인레스강은 자체의 양호한 내부식성이 있어 Galvanizing 처리가 필요치 않으며 용접시공시 Zn 도막층의 제거를 목적으로 한 화염의 사용은 내부식성을 저해하는 Cr₂₃C₆의 생성 및 Zn의 확산 등을 고려하여 반드시 피해야 한다.

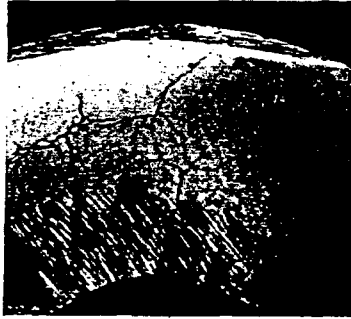


Photo 1. Macrograph of reducing socket showing crack

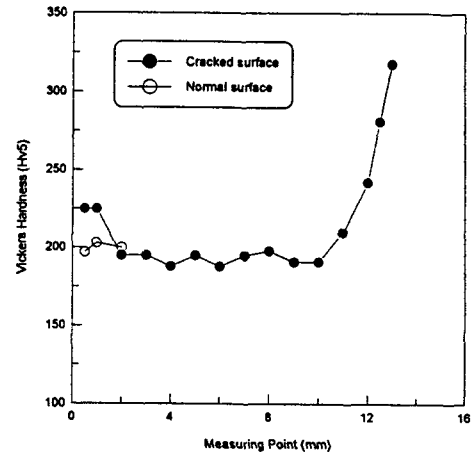


Fig. 1 Hardness distribution of cracked sleeve surface

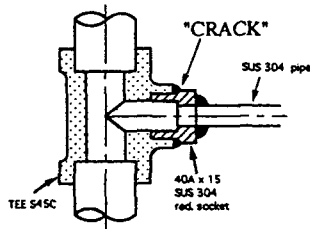


Fig 2. Schematic drawing of deck Service of High Pressure cleaning out system.

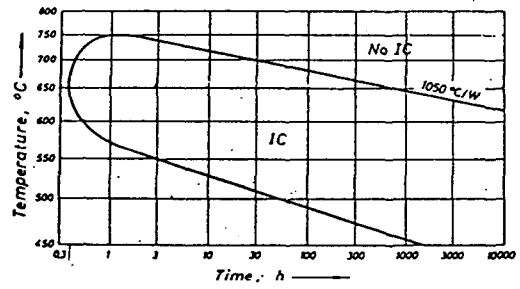


Fig.3 $M_{23}C_6$ precipitation field of SUS 304

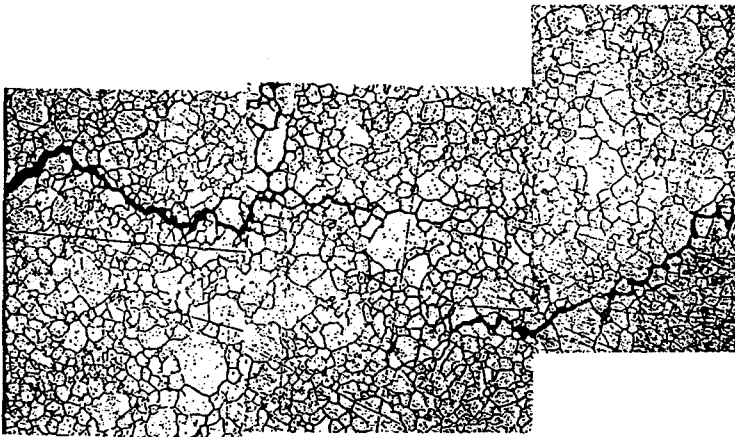


Photo 2. Micro-structure of base metal(Socket) showing crack propagated

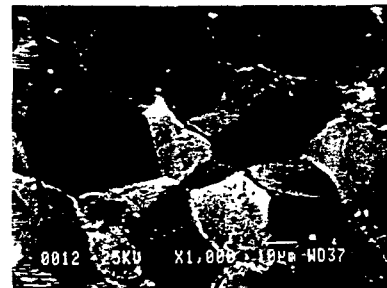


Photo 3. SEM fractograph of the crack surface