



페라이트 스테인리스강 용접부에 대한 수소취성의 기계적 특성에 관한 연구

임우조* · †최병일

*부경대학교 기계공학부, 워러썸 엔지니어링
(2005년 8월 19일 접수, 2005년 10월 17일 채택)

The Study on the Mechanical Characteristics of Hydrogen Embrittlement for the Weld Zone of Ferrite Stainless Steel

Uh Joh Lim* · †Choi Byung Il

*School of Mechanical Engineering, Pukyong Nat. University, Pusan 608-739, Korea
Watertherm Engineering, Seoul 137-891, Korea
(Received 19 August 2005, Accepted 17 October 2005)

요 약

스테인리스 강재인 STS444에 있어서 용접조건에 따른 수소취성 거동을 고찰하고자 수소침투실험과 기계적 인장시험을 실시하였다. 즉, 0.5M H_2SO_4 + 0.001M As_2O_3 수용액 중에서 1,400 kg/cm²의 하중을 부가하는 동시에 전기화학 부식시험 장치로 30 mA/cm² 전류를 60분간 인가하여 수소를 침투시킨 후 기계적 인장시험을 통해서 STS444 용접부의 수소취성 특성에 관해서 고찰하였다. STS444에 있어서 용접조건이 수소취성에 미치는 특성을 연구한 결과, 용접 전 기름이나 물의 흡착에 의해 인장강도나 연신율은 낮아진다. 또한 기름이나 물이 흡착함으로써 수소취성에 의한 인장응력 및 연신율의 감소율은 더 크게 나타나고, 용접 전 물의 흡착이 기름의 흡착보다 수소취성에 민감하다.

Abstract – In this paper, the hydrogen osmosis test and the mechanical tensile test were carried out to examine hydrogen cracking behavior of STS444 with welding conditions. In 0.5M H_2SO_4 + 0.001M As_2O_3 solution, the hydrogen embrittlement characteristics of weld zone of STS444 added to load of 1,400 kg/cm² together with hydrogen osmosis by current of 30 mA/cm² for 60 min. was considered. As a result of study on the hydrogen embrittlement and mechanical characteristics of STS444 with welding conditions, the tensile stress and elongation of STS444 get lower by the absorption of oil or water before welding. Also, the reduction rate of tensile stress and elongation of STS444 is larger because of hydrogen embrittlement by the absorption of oil or water. STS444 by the absorption of water before welding is more sensitive to hydrogen embrittlement than oil.

Key words : Boiler, Stainless steel, Hydrogen embrittlement, Cathodic polarization

I. 서 론

스테인리스강은 STS304나 STS316이 일반적으로 널리 사용되고 있지만, 보일러와 같이 용접으로 접합하고 물과 접촉하는 구조에서는 부식문제가 있기 때문에 사용을 꺼리는 경향이 있다[1,2].

근래에는 페라이트계 스테인리스 강재 적용이 증가되고 있는데 대표적인 것이 STS444로 일본에서는 오

래 전부터 저장식 온수기나 보일러에 사용 되어 왔고, 우리나라도 7~8년 전부터 보일러에 적용되고 있다.

페라이트계 스테인리스강인 STS444를 사용하는 중요한 이유는 STS304나 STS316과 같은 오스테나이트계 스테인리스강은 Cl⁻ 이온이 포함된 수질에서 응력부식균열을 일으키는 큰 약점을 갖고 있으나 STS444는 응력부식균열에 대한 문제는 거의 나타나지 않기 때문이다[3]. 또한 공식 저항지수가 STS304 보다 STS 444가 높기 때문에 내식성이 우수하면서도 가격이 싸기 때문에 적용을 확대해오고 있었던 것이다[3].

*주저자:cb5710@korea.com

이렇게 부식성이나 경제성 측면에서는 우수 하다고 할 수 있으나, 기계가공은 까다롭고 용접에서는 적지 않은 결함이 발생되고 있어 적용에 어려움이 많이 것이 현실이다. 특히, 용접결합 중에는 수소균열 문제가 가장 심각하다[3,6].

수소균열은 음극분극을 통해서 실험적으로 응력부식 균열과 구별할 수 있으며, 이 음극분극은 수소발생에 의해 수소균열은 더 성장하지만, 응력부식균열은 억제 되기 때문인 것으로 보고되고 있다[5,6].

용접결합의 문제로는 보일러 관체를 제작하여 보관했다가 3~4일 후에 수압검사를 하면 미세한 균열이 발생되어 누수가 되는 현상이 있다. 또 3~4일 더 보관했다가 다시 수압검사를 하면 새로운 부위에 미세균열이 발생되는 경우도 있다. 이 미세균열은 수소균열로 추정되고 있다[6].

이러한 미세균열 발생현상은 습도, 재료의 청결 상태, 작업자 숙련도에 따라 변화가 크다는 것을 작업 현장에서 경험적으로 느끼고 있다.

따라서 본 연구는 0.5M H₂SO₄ + 0.001M As₂O₃ 수용액 중에서 1,400 kg/cm²의 하중을 60분간 부가하는 동시에 전기화학적 부식시험 장치로 30 mA/cm² 전류를 인가하여 수소를 침투 시킨 후 기계적 인장시험을 통해서 STS444 용접부의 수소취성을 고찰 하고자 한다.

II. 시험재료 및 실험방법

2.1. 시험 재료 및 제작 방법

본 실험에 사용된 시험재료는 Table 1과 같은 화학 성분과 기계적 성질을 가진 페라이트계 스테인리스강 재인 STS444이다.

시험편 제작은 Fig. 1과 같은 TIG 자동 용접설비를 이용하였다. 세부 작업조건은 Fig. 2와 같으며 용접기 사양은 Table 2와 같다.

용접조건은 기계 가공 중에 오염될 수 있는 기름이나, 재료 보관 시 유입되는 물기 등 재료의 청결 상태가 수소침투에 의한 수소취성에 영향이 있는 것으로 추

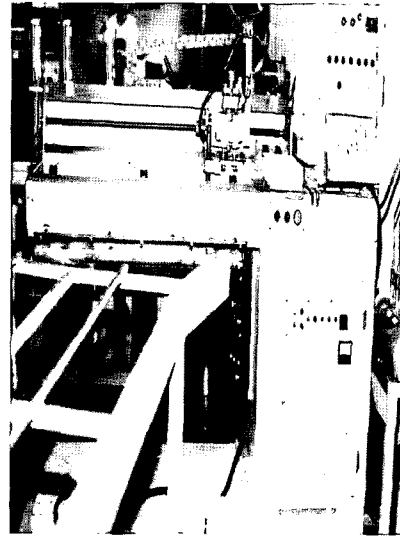


Fig. 1. TIG automatic welding machine.

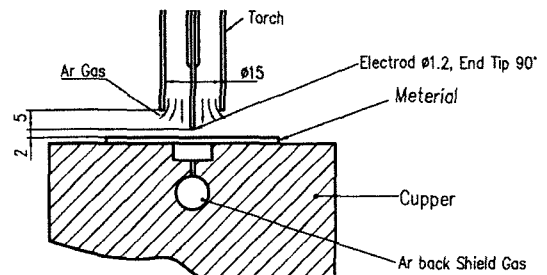


Fig. 2. Electrode and torch.

Table 2. Specification of welding machine.

Electric	Maker	Maximum amp.(A)	Voltage (V)	Rpm of motor (rpm)
DC	Matsushita Electric, Japan	300	20~60	50~1800

Table 1. Chemical compositions and mechanical properties of STS444.

Chemical composition (wt %)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	N	Nb
		0.08	0.27	0.19	0.03	0.03	18.02	1.8	0.02
Mechanical properties	Tensile strength (kg/mm ²)		Elongation (%)		Hardness Hv		Density (kg/m ³)		
	50.6		32		171		7.75 × 10 ³		

Table 3. Welding condition.

	Condition 1	Condition 2	Condition 3
Thickness (mm)	2	2	2
Current (A)	100	100	100
Ar. Gas (l/min)	20	20	20
Speed (m/min)	8	8	8
Cleaning status of material surface	Good cleaning	Contaminated by oil	Contaminated by water

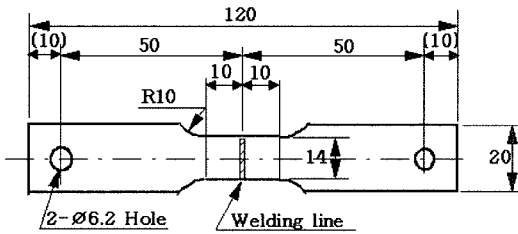


Fig. 3. Specimen for tensile test (unit:mm).

정되어 Table 3과 같이 용접하였다.

재료 표면의 청결 상태에 있어서 조건 1은 알카리계 탈지제(Super cleanser #1001) 1% 수용액을 100°C로 가열하여 5분간 담근 후 물로 세척하였다. 조건 2는 조건 1과 같은 방법으로 탈지한 후 시험편 용접 전 맞닿은 틈에 파라피닉미네랄오일(Paraffinic mineral oil : BH-46)을 칠하고 외부에 묻은 기름은 마른 헝겊으로 제거하였다. 조건 3은 조건 1과 같은 방법으로 탈지한 후 시험편 용접 전 맞닿은 틈에 수도수를 칠하고 외부에 묻은 물은 마른 헝겊으로 제거하였다.

인장응력 및 연신을 실험은 Fig. 3과 같은 시험편을 이용하였다.

2.2. 실험장치 및 실험방법

수소침투 실험은 Fig. 4의 만능 재료 시험기에 Fig. 5와 같은 상하로 절연된 챔버와 연결보조 장치를 이용했으며, 음극분극은 Fig. 6과 같은 전기화학적 부식시험장치를 이용하였다.

수소침투를 실시하지 않은 인장시험과 수소침투를 실시한 인장시험에 의한 기계적 특성을 조사하였다. 인장시험은 변형률 속도 0.008/sec로 하였다.

수소침투 실시는 0.5M H₂SO₄ + 0.001M As₂O₃ 수용액 중에서 1,400 kg/cm² 일정한 하중을 부가하면서 동시에 30 mA/cm² 전류를 60분간 인가하였다. 기준전극

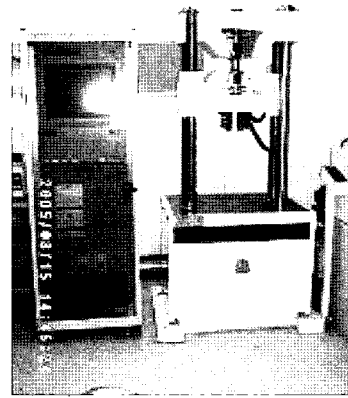


Fig. 4. Universal testing machine.

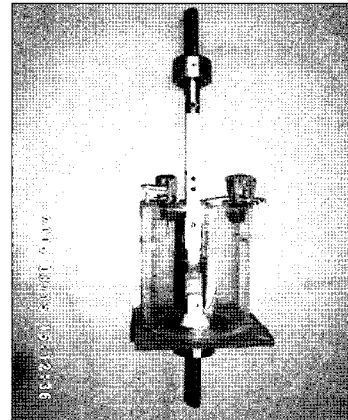


Fig. 5. Chamber and connecting rod.

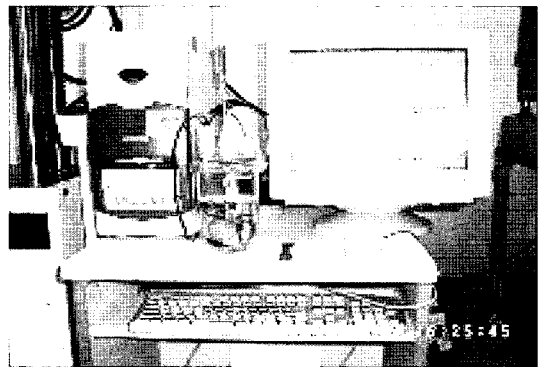


Fig. 6. Schematic diagram of polarization test equipment.

은 포화카로멜전극(saturated calomel electrode, SCE), 보조전극은 백금판을 이용하였다. 이때 수용액은 pH는 0.5이며, 실험은 상온에서 실시하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

3.1. 응력과 변형에 미치는 용접조건에의 영향

Fig. 7은 수소침투를 하기 전 용접조건에 따른 인장 응력과 변형을 나타낸 것이다.

용접 전 시험편을 탈지한 조건 1의 인장응력 및 변

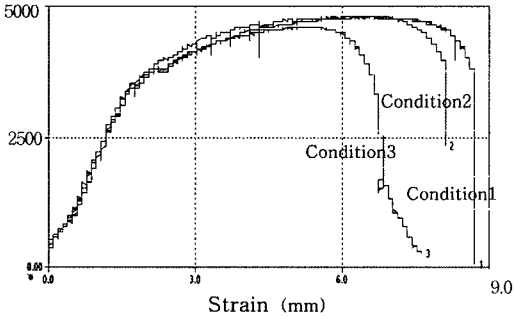


Fig. 7. Stress vs. strain before hydrogen osmosis.

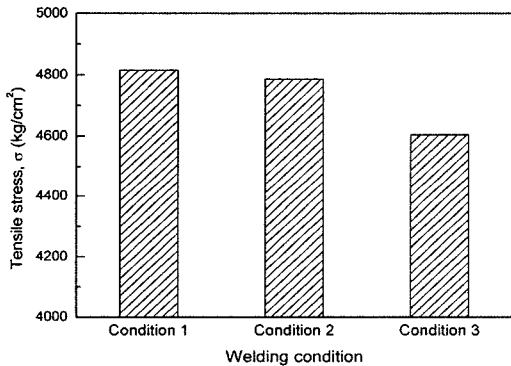


Fig. 8. Tensile stress vs. welding condition before hydrogen osmosis.

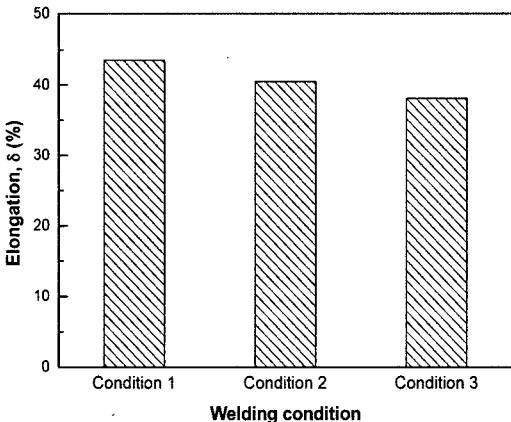


Fig. 9. Elongation vs. welding condition before hydrogen osmosis.

형은 용접 전 기름이나 물을 칠한 조건 2 및 조건 3의 응력 및 변형보다 Fig. 7에서 크게 나타남으로써 계산으로 얻은 연신을 값도 유사한 양상을 나타낼 것으로 추정된다.

인장응력과 연신율을 좀 더 정량적으로 규명하고자 Fig 7의 실험값을 정리하여 Fig. 8은 용접 조건별 인장 응력을 Fig. 9에 연신율을 나타낸 것이다.

Fig. 8 및 Fig. 9에서 기름이나 물을 칠한 조건 2 및 조건 3의 인장응력 및 연신율은 탈지한 조건 1보다 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다. 용접 조건별로 인장강도나 연신율을 비교 했을 때 청결상태가 좋은 조건 1의 용접건전성이 가장 좋고, 조건 3이 가장 나쁜 것으로 나타난 것은 기름보다는 물기가 용접 건전성을 해치는 것으로 판단된다.

3.2. 수소침투에 따른 응력과 연신율 변화

Fig. 10은 조건 1, 조건 2 및 조건 3의 시험편에 대해 수소침투에 따른 인장응력 변화를 나타낸 것이다.

수소를 가속 침투시킨 후의 인장응력은 수소를 침투하기전의 인장응력보다 낮아지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 11은 조건 1, 조건 2 및 조건 3의 시험편에 대해 수소침투에 따른 연신율 변화를 나타낸 것이다.

수소를 가속 침투시킨 후의 연신율은 수소를 침투하기전의 연신율 보다 낮아지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 10 및 Fig. 11의 결과로부터 알 수 있듯이 어느 용접조건하에서도 수소침투 후 인장응력과 연신율이 저하되는 이유는 이미 서론에서 고찰한 바와 같이 수소침투로 인하여 재료의 수소취성이 일어나기 때문인 것으로 사료된다[7,8].

수소침투에 따른 수소취성으로 인한 인장응력 및 연

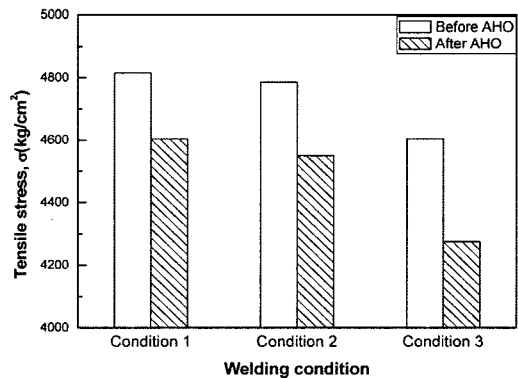


Fig. 10. Tensile stress vs. welding condition before and after hydrogen osmosis (AHO: Acceleration Hydrogen Osmosis).

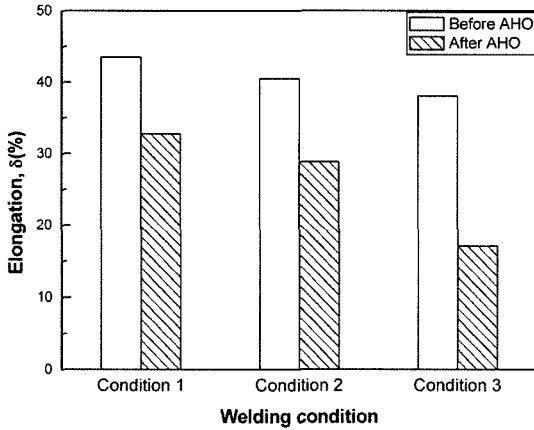


Fig. 11. Elongation vs. welding condition before and after hydrogen osmosis (AHO: Acceleration Hydrogen Osmosis).

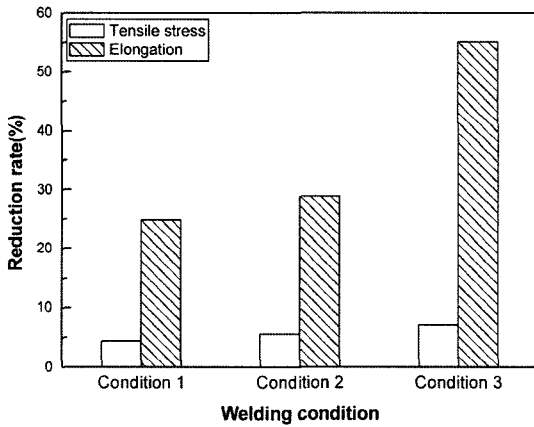


Fig. 12. Reduction rate of tensile stress and elongation before and after hydrogen osmosis.

신율의 감소율을 구하고자, Fig. 10 및 Fig. 11의 수소 침투 전후의 인장응력 및 연신율 값을 계산하여 Fig. 12에 인장응력 및 연신율의 감소율을 나타내었다.

조건 2와 3의 인장응력 및 연신율의 감소율은 조건 1의 인장응력 및 연신율의 감소율보다 더 높게 나타나고, 인장응력 및 연신율의 감소율은 조건 1<조건 2<조건 3의 순으로 크게 나타나고 있으며, 용접 전 물의 흡착이 기름의 흡착보다 수소취성에 민감한 것으로 추정된다.

용접 전 기름이나 물의 흡착을 완전히 제거하지 아니하면 수소침투 시험을 하기 전 용접 건전성도 나쁘게 나타났지만 그 상태에서의 수소에 의한 수소취성이 더 민감한 것으로 판단된다.

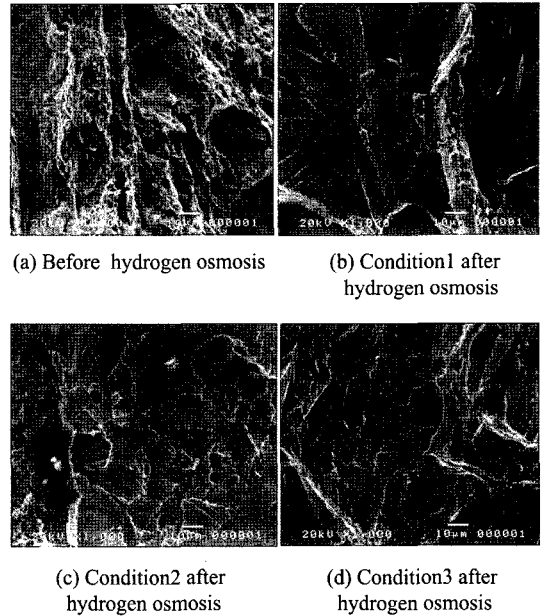


Fig. 13. SEM of fracture surface before and after hydrogen osmosis.

3.3. 파단 양상

Fig. 13은 수소침투시킨 시험편과 하지 않은 시험편을 비교하여 수소취성 여부를 관찰하기 위해서 각각 인장 실험하여 파괴된 파단면을 전자현미경으로 찍은 사진이다.

Fig. 13의 (a)는 수소침투를 하지 않은 시험편 파단양상으로 파단면은 연성파단임을 알 수 있다. 또 Fig. 13의 (b), (c), (d)는 수소침투를 한 조건 1, 조건 2, 조건 3 시험편 파단면은 취성파단임을 알 수 있다. 그러므로 페라이트계 스테인리스 강재인 STS444는 수소에 대한 감수성이 있음을 확인 할 수 있다. 또한 수소취성에 민감한 정도는 Fig. 10 및 11의 결과와 같이 조건 2, 3이 수소의 영향을 많이 받고, 용접 전 물의 흡착이 기름의 흡착보다 수소취성에 더 민감한 것으로 판단된다. 이와 같이 용접전 물의 흡착에 의해 STS444의 수소취성이 가장 민감한 이유는 수분이 용접온도에서 수소로 분해되어 용접부의 기공(void)이나 금속격자에 침입수소(interstitial hydrogen)로 흡착하면서 수소취성의 민감성에 기여하기 때문인 것으로 사료된다[9,10].

IV. 결 론

스테인리스 강재인 STS444에 있어서 용접조건이 수소취성에 미치는 특성을 연구한 결과, 용접 전 기름이

나 물의 흡착에 의해 인장강도나 연신율은 낮아진다. 또한 기름이나 물이 흡착함으로써 수소취성에 의한 인장응력 및 연신율의 감소율은 더 크게 나타나고, 용접 전 물의 흡착이 기름의 흡착보다 수소취성에 민감하다.

참고문헌

- [1] 伊藤伍郎, 腐蝕と防蝕, 機械工學全書6, コロナ社, 197-206, (1986)
- [2] A. John Sedriks, Corrosion of Stainless Steel, Electrochemical Society, 293-296, (1996)
- [3] Denny A. Jones, Principles and Prevention of Corrosion, Macmillan Publishing Co., 234-236, (1992)
- [4] Charlatte Weisman, Welding Handbook, Seventh Edition, Vol. 1, 2nd, 153-158, (1981)
- [5] 吉澤四郎, 山川宏二, 片桐 晃, 金屬の腐食防食序論, 化學同人, 110, (1989)
- [6] 長谷川正義 監修, 스테인리스鋼 便覽, 239-242, (1992)
- [7] Wranglen G, An Introduction to Corrosion and Protection of Metals, Chapman & Hall Ltd., 137, (1985)
- [8] 前掲書(3), 334, (1992)
- [9] 이의호, 이학렬, 황운석, 김광근, 부식과 방식의 원리, 동화기술, 392, 416-417, (1999)
- [10] 이학열, 금속방식공학, 연경출판사, 156, (1997)