

조선해양플랜트용 T-bar 용접부의 미세조직학적 특성에 관한 연구

황유진¹ · 최영신¹ · 장지훈¹ · 이상익² · 공경열² · 이동근^{1#}

Microstructural Characteristics of T-bar Welding Zone for Shipbuilding and Offshore Plants

Y.J. Hwang¹, Y.S. Choi¹, J.H. Jang¹, S.I. Lee², K.Y. Gong², D-G. Lee^{1#}

(Received August 9, 2018 / Revised September 11, 2018 / Accepted September 20, 2018)

Abstract

T-type and H-type section steels were generally used in shipbuilding and offshore plants and were produced by welding technology. These section steels were produced by handwork, and the supplying amounts can't satisfy the demand amounts of the fabrication companies. In case of fillet welding, there are some gaps in weld-joint region due to no groove preparation processing and it can occur crack initiation in the welded region. It is important to evaluate the microstructural and mechanical properties of welded zone to solve these problems. To satisfy the demand amounts of T-bar parts, automatic welding technology was introduced and several conditions as a function of welding speeds were carried out to improve the manufacturing speed. Heat-affected zone may be affected by variation of heat input and cooling rate through automatic welding speed and welding speed is necessary to be optimized. In this study, fusion zone and heat-affected zone were investigated by microstructural and mechanical analysis and were evaluated whether the welded parts were sound or not.

Key Words : T-bar, Fillet welding, Microstructure, Bainitic transformation, Heat-affected zone

1. 서 론

2017년 한국의 조선 수주량은 세계 1위를 탈환하였다. 그러나 중국의 급성장 및 저가 공세 때문에 해양플랜트 산업은 여전히 불황을 겪고 있다[1]. 한국 조선산업의 기술경쟁력 및 낮은 생산단가를 확보해 해양플랜트 산업의 호황을 위해서는 용접의 고능률화가 필요하다. 용접 및 접합산업은 조선, 자동차, 중공업, 건설 등의 산업에 필요한 재료를 공급하며 이 산업들의 국가경쟁력을 좌우하는 생산기반산업이다[2-4]. 용접기술의 단점 개선 및 개발 없이는 성과를 기대하기가 매우 어렵다.

한국 철강협회에서 조사한 철강생산 통계에 따르면 형강류는 조선해양플랜트업계에서 1000만톤 이상 사용되고 있는 대형선박 및 해양플랜트 제작

용 철강재의 30%를 차지하는 대량 자재이다. 이 형강은 2차 가공을 수행하고 있으며 단순한 가공작업이기에 수작업에 의한 생산비율이 높다. 하지만 이 2차 가공작업은 3D 작업으로 불리우고 있기에 작업자들이 기피하는 현상을 보인다. 또한 일본의 경우 작업자들의 고령화로 인해 국내로의 제작의뢰가 활발하다. 이와 같은 사정으로 인해 형강류의 공급량이 수요량을 따르지 못하는 상황이 지속되고 있다. 이에 형강재 자동생산 및 생산속도 고속화에 의한 대량생산이 요구되고 있는 실정이다.

선박건조에 이용되는 형강류 중 가장 많이 이용되는 형강류는 T형 및 H형 구조이다. 이러한 구조의 형강류에는 필렛용접을 적용한다. 구조물의 수명은 용접부의 건전성 및 신뢰성에 직접적으로 영향을 받는다. 특히 개선가공을 이용하면 용입 이음부

1. 순천대학교 신소재공학과 대학원생

2. 기득산업㈜ 책임연구원

Corresponding Author : Sunchon National University, Professor,

E-mail: leechodg@scnu.ac.kr

가 완전해지지만, 필렛 용접의 경우에는 개선가공을 하지 않아 사이에 갭이 존재하게 되고 이로 인해 균열의 발생가능성이 높아진다[5]. 이에 본 연구에서는 T-bar 형강류의 수요량을 충족하기 위해 자동용접기술을 도입하고 생산속도를 높이고자 용접속도를 다양하게 조절하여 시험하였다. 용접부와 열영향부의 마이크로조직 및 마크로조직을 관찰하고 기계적 특성을 분석하였으며, 용접속도 조건에 따른 조선해양플랜트용 T-bar의 용접부의 건전성을 평가하고자 하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서 사용한 소재는 AH36 강으로 일반적인 화학적 조성은 Table 1에 나타내었고, 용가재의 화학적 조성은 Table 2에 나타내었다. 용접방법으로는 필렛용접을 이용하였으며, 두개의 후판을 직각으로 세워 수직면의 양쪽을 용접하였다. 용접은 용접속도를 270mm/min, 300mm/min, 330mm/min으로 구분하여 수행하였다. 용접 조건은 동일한 전류(250A)와 전압(33V)을 가했으며 용접 후 공냉하였다.

미세조직학적 특성을 평가하기 위해 제일 먼저 ethanol 90ml+HNO₃ 10ml의 용액으로 macro etching을 통해 마크로 조직을 관찰하였다. 접합부의 길이를 측정하여 양쪽 비드 각도를 계산할 수 있었다(Fig. 1).

미세조직을 관찰하기 위해 표면연마를 수행한 후, ethanol 100ml+HNO₃ 3ml 용액을 이용하여 micro etching을 수행하였다. 미세조직은 광학현미경(Olympus BX53M)을 이용하여 관찰하였다. 용접부는 Fusion Zone (FZ), Coarse Grain Heat Affected Zone (CGHAZ), Fine Grain Heat Affected Zone (FGHAZ), Inter Critical Heat Affected Zone (ICHAZ), Base Metal Zone (BM)으로 구분하였다. 기계적 특성을 파악하기 위해 마이크로 비커스 경도를 측정하였으며 하중은 1kgf으로 용접부, HAZ, 모재부를 일방향으로 측정하였다.

Table 1. Chemical compositions of AH36 steel.

Elements	C	Mn	Si	P	S	N
Composition (max wt.%)	0.21	1.7	0.55	0.035	0.035	0.02

Table 2. Chemical compositions of filler metal.

Elements	C	Mn	Si	P	S
Composition (wt.%)	0.21	1.7	0.55	0.035	0.035

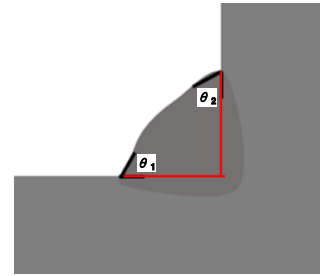


Fig. 1. Schematic diagram of bid angle measurement.

3. 결과 및 고찰

각 용접조건별 마크로 조직을 관찰한 사진을 Fig. 2에 나타내었다. FZ에서 응고조직을 관찰할 수 있었는데, 용접열을 배출하는 최단거리와 응고조직의 방향이 일치한다는 것과 용접속도가 빨라짐에 따라 HAZ영역이 좁아진다는 것을 육안으로 확인할 수 있었다. 용접결합은 균열, 언더컷, 기공, 용입부족으로 인한 융합불량 등이 있으며 이들 또한 육안으로 확인이 가능하다. 마크로 조직에서 육안으로 균열, 기공, 용입부족으로 인한 융합불량 같은 결함들은 관찰되지 않았다. 그러나 모재 및 용접부의 일부가 녹아 흠 또는 오목한 부분이 생기는 언더컷이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 모든 속도조건에서 언더컷의 발생의 정도는 비슷하였다.

마크로 조직을 관찰한 후 접합부의 길이를 측정해 비드 양쪽의 각을 측정하였다(Table 3). 후판을 수직으로 세워 용접을 했기 때문에 비드의 흘러내림이 많이 발생하게 되면 용접부의 결합력이 약해질 수 있다. 비드각 측정 결과, 비드각의 편차는 속도에 상관없이 무작위로 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이 때, 수직부분과 수평부분의 각도 차이에 의한 큰 편차값은 일부의 흘러내림 현상에 의해 발생한다. 평균적으로 계산했을 때 용접속도가 증가함에 따라 다소 편차가 커지는 것을 확인할 수 있었다. 각 조건별 미세조직을 용접부위에 따라 촬영한 광학사진을 Fig. 3에 나타내었다. 모든 용접조건에서

FZ의 미세조직은 큰 차이를 보이지 않았으며, 표2에 나타난 용가재를 이용해 용접함으로써 용접 후 급냉에도 불구하고 martensite상은 생성되지 않고 grain

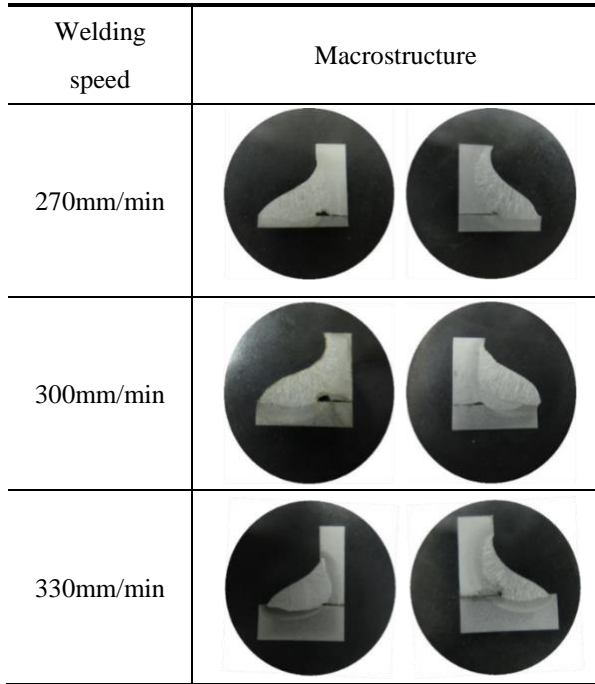


Fig. 2. Macrostructures of welded specimens at various welding speed.

Table 3. Variation of bid angle according to welding speed.

Conditions (mm/min)		θ_1 (°)	θ_2 (°)	Deviation (%)
270	1	53.4	36.6	31.5
	2	44.7	45.3	1.3
300	1	42	48	12.5
	2	56.5	33.5	40.7
330	1	41	49	16.3
	2	57.12	32.88	42.4

Boundary ferrite (GBF)와 Widmånstatten ferrite (WF)가 관찰되었다.

GBF는 일반적으로 용접부 저온인성을 저해하는 조직으로 저온균열에 민감하며, WF는 GBF에서 침상형으로 자라나는 조직으로 취성이 크고 저온인성이 낮아 균열 저항성이 낮은 편이다[6]. 그러나 GBF와 WF를 제외한 나머지 대부분의 조직에서 acicular ferrite (AF)가 관찰되었다. 이 조직은 오스테나이트 결정립 내부의 개재물로부터 균열 핵생성되어 성장하는 침상형 페라이트로 랜덤한 방위를 가지는 lath가 interlocking되어 이루어지고, 결정립이 미세하고 높은 tangled dislocation 밀도를 가짐으로 인해 강도와 인성이 높아져 용접부에 긍정적인 영향을 미치므로[7] 용접부에서는 이상적인 미세조직인 AF상의 분율을 높이는 것이 좋다.

CGHAZ에서는 높은 peak 온도에 의해 결정립의 성장이 발생해 결정립 조대화가 일어난 영역이다. 용접속도가 증가함에 따라 CGHAZ의 결정립의 크기가 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 용접속도의 증가에 의해 입열량이 작아져 결정립 성장에 필요한 구동력이 줄어들기 때문이다. 또한 냉각속도가 FZ보다는 느린 편이지만 모재와 용가재의 성분 차이로 인해 조대한 prior austenite 결정립 내부에 bainite상이 형성된 것을 확인할 수 있었다. Bainite상의 분율이 많아질수록 열영향부의 연성을 저하시키므로 용접방식을 바꿔 미세조직을 개선시켜야 할 필요성이 있다. FGHAZ에서는 용접속도에 따른 미세조직 형상의 변화는 관찰되지 않았지만, 거의 대부분이 α -ferrite상을 보였다.

ICHAZ는 혼합조직을 갖게 되어 고경도의 미세한 martensite-austenite (MA)상이나 martensite, bainite상이 형성될 수 있거나 석출상이 생겨 취약하게 할 수 있으나, 관찰한 결과 대부분이 α -ferrite상과 pearlite상으로 나타났으며, bainite상이나 martensite상이 관찰되지 않았다.

Fig. 4에 마이크로비커스 경도를 측정된 결과를 나타내었다. 속도에 따른 경도값의 차이는 크지 않았으며, CGHAZ에서 가장 높은 값을 나타내었고 FZ로부터 거리가 멀어질수록 점점 값은 감소하는 경향을 보였다. 용접속도가 증가함에 따라 입열량은 감소하고 이에 따라 결정립의 크기가 감소하는 경향

을 갖게 되지만, 모든 용접속도 조건에서 용접부의 각 부위별로 유사한 물성을 나타내고 있다. FZ은 이 전 결정립 내부가 AF상으로 구성되어 있어 FGHAZ

와 비슷한 경도를 띄었으나, CGHAZ의 경우 bainite 조직이 형성되었기 때문에 가장 높은 경도값을 나타냈다.

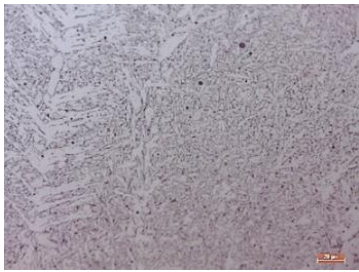
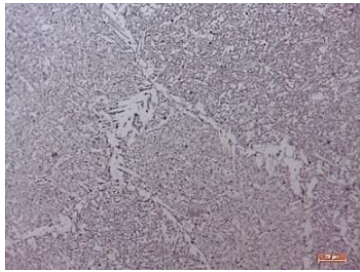
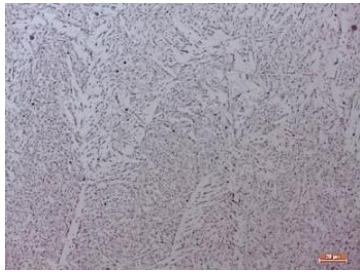
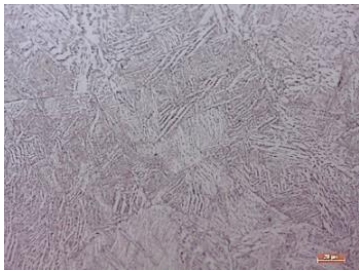
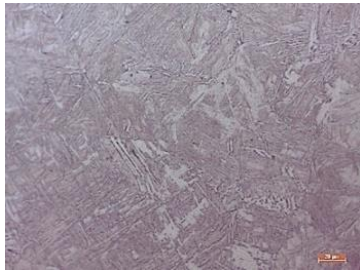
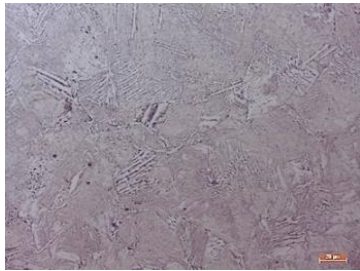

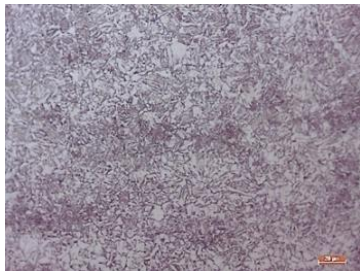
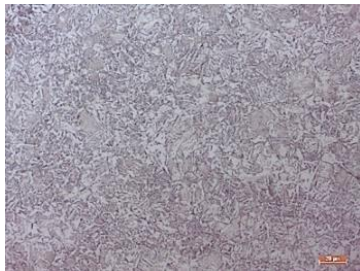
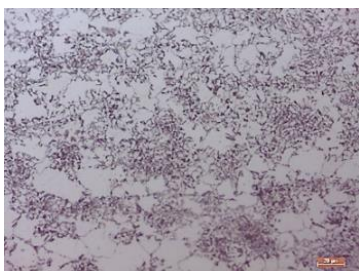
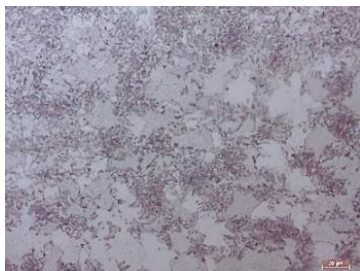
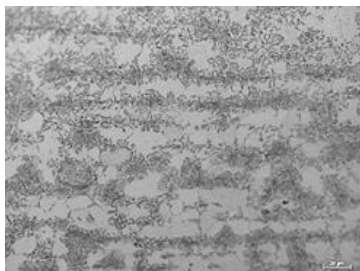
Welding speed	270mm/min	300mm/min	330mm/min
FZ			
CGHAZ			
FGHAZ			
ICHAZ			

Fig. 3. Optical micrographs of each welded regions at various welding speed.

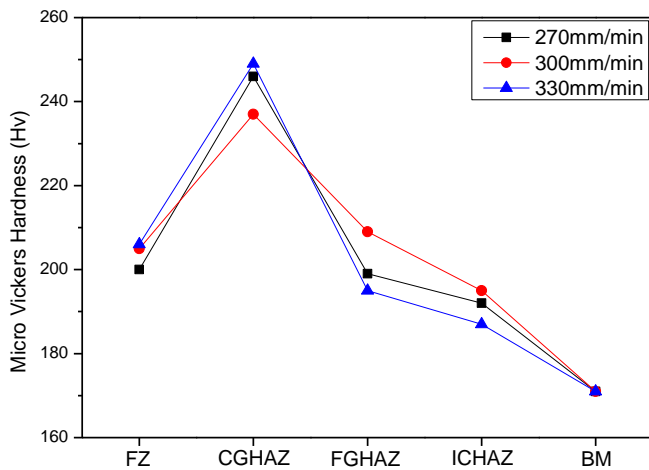


Fig. 4. Variation of microvickers hardness according to welding speed in each welded region.

4. 결론

본 연구에서는 용접속도에 따른 형강류 용접부의 미세조직학적 변화와 기계적 물성의 상관관계를 분석/평가하였다. Fusion zone에서는 grain boundary ferrite와 Widmännstatten ferrite가 관찰되었지만 강도와 인성이 좋은 acicular ferrite가 주된 미세조직으로 나타나 양호한 미세조직을 나타내었지만, α -ferrite상이 대부분인 fine grain HAZ와 비슷한 경도를 나타내었다.

Coarse grain HAZ에서는 용접속도가 빨라짐에 따라 입열량이 줄어들어 결정립의 크기가 작아지는 것을 확인할 수 있었고, bainite상이 주로 나타나 경도값이 증가하였다. Inter critical HAZ는 가장 취약할 수 있는 부분이지만 미세조직학적으로 양호한 것을 확인하였다. 270~330mm/min의 용접속도 범위에서는 용접속도에 상관없이 건전한 용접부를 얻을 수 있었으며, 이에 향후 더 높은 용접속도의 적용도 기대할 수 있을 것이다.

후 기

본 논문은 2018년도 산업통상자원부(MOTIE)와 한국산업기술진흥원(KIAT)의 경제협력권산업 육성사업의 연구지원으로 수행되었으며(과제번호: R0004926), 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- [1] S. H. Park, 2016, 한국의 조선산업의 현주소와 구조조정의 대응전략, Situations & Labor, Vol. 122, pp. 116~133.
- [2] J. P. Lee, I. S. Kim, M. H. Park, B. J. Jin, I. N. Kim, J. S. Kim, 2017, An Experiment Study for S/N Ratio of Bead Geometry for Guaranteeing the Welding Quality in Bellows Weld Joint, J. Welding and Joining, Vol. 35, No. 2, pp. 43~51.
- [3] K. Pal and S. K. Pal, 2011, Soft Computing Methods Used for the Modelling and Optimization of Gas Metal Arc Welding, Int. J. Manuf. Res., Vol. 6, No. 1, pp. 15~29.
- [4] N. Murugan, R. S. Parmar, 1994, Effects of MIG Process Parameters on the Geometry of the Bead in the Automatic Surfacing of Stainless Steel, J. Mat. process., Vol. 41, No. 4, pp. 381~398.
- [5] S. J. Maddox, 1975, An Analysis of Fatigue Cracks in Fillet Welded Joints, Int. J. Fracture, Vol. 11, No. 2, pp. 221~243.
- [6] M. J. Lee, N. H. Kang, 2014, The Effects of Microstructure on Cold Crack in High-Strength Weld Metals, J. Welding and Joining, Vol. 32, No. 1, pp. 22~27.
- [7] Y. Tian, H. T. Wang, Y. Li, Z. D. Wang, G. D. Wang, 2017, The Analysis of the Microstructure and Mechanical Properties of Low Carbon Microalloyed Steels after Ultra Fast Cooling, Mat. Res., Vol. 20, No. 3, pp. 853~859.