

이종 스테인레스 전자빔 용접부 조직 및 기계적 특성 (Microstructure and mechanical properties of electron beam welds in Duplex/ γ stainless steels)

김숙환*, 이종섭*, 김대업**

*포항산업과학연구원 집합가공연구팀, 경북 포항시

** 현대우주항공(주), 충남 서산시

1. 서론

사용조건이 가혹화함에 따라 이종소재간 용접의 요구가 날로 증대되고 있다. 특히 고부가가치 소재중의 하나인 스테인레스는 일반 탄소강재에 비해 인성 뿐만아니라 내식 및 내열특성이 우수하기 때문에 특수 목적용 고부가가치 설비에 널리 적용되고 있다. 이들 소재가 적용되는 설비 및 장치는 주로 박물로서 고정도 용접특성을 요구하기 때문에 전자빔 용접이나 GTA 용접과 같은 용접법이 주로 적용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 스테인레스의 대표적 강종인 오스테나이트계와 Duplex 스테인레스를 대상으로 이종 재료간 전자빔 용접부 조직특성과 기계적 성질을 비교 평가하는 기초적인 연구로 수행하였다.

2. 소재 및 실험방법

본 실험에서 사용한 소재는 스테인레스강의 대표적 강종인 오스테나이트계 (STS316, STS321, STS347)와 Duplex (STS329J3L, S32550) 스테인레스강으로서 이들 이종재료간 전자빔 용접부 조직특성을 비교 평가하였다. 그리고 Duplex 스테인레스와 Cu합금의 전자빔 용접부 기본특성도 검토하였으며 적용 소재의 화학성분 분석결과는 Table 1과 같다. 또한 용접부 조직특성을 해석하기 위하여 SEM/EPMA분석을 실시하였다. 또한 이종 스테인레스 및 Cu합금간 전자빔 용접부 기계적 특성을 상온과 고온에서 비교 검토함으로써 사용조건에 따른 적정 소재조합 조건을 도출하고자 하였다.

Table 1 Chemical composition of steel used

Steel	Chemical composition (wt.%)												Creq	Nieq	Remarks
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Ti	V	N			
A	0.037	0.587	1.060	0.021	0.002	16.63	2.040	10.68	0.216	0.030	0.078	0.031	20.40	12.48	STS 316
B	0.013	0.476	1.340	0.022	0.001	17.72	0.105	9.41	0.157	0.080	0.070	0.015	18.82	10.48	STS 321
C	0.013	0.490	1.330	0.020	0.001	17.65	0.124	9.83	0.165	Nb 0.073	0.070	0.015	18.77	10.91	STS 347
D	0.028	0.403	1.490	0.022	tr.	21.88	2.840	6.02	0.244	0.005	0.051	0.180	26.39	9.9	Avesta (329J3L)
E	0.021	0.320	1.270	0.019	0.001	24.62	3.05	6.22	1.600	-	-	0.215	29.28	11.73	S32550
F	-	0.009	-	-	-	0.97	-	-	Bal.	-	-	-	Fe 0.036	Pb 0.003	C18200

$$*C_{req} = \%Cr + 1.37x\%Mo + 1.5x\%Si + 2x\%Nb + 3x\%Ti$$

$$Nieq = \%Ni + 0.31x\%Mn + 22x\%C + 14.2x\%N + \%Cu$$

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1은 STS316과 Duplex 스테인레스(STS329J3L)강을 60kV-16mA-600mm/min의 조건으로

전자빔 용접한 용접부 단면사진과 위치별 용접부 조직을 나타낸 것이다. 용접금속은 모두 초정 페라이트 옹고이고 그 내부에 오스테나이트가 입계에서 입내로 잘 발달한 조직을 나타내고 있다. 이것은 오스테나이트계 스테인레스중에서 STS316이 다른 스테인레스강의 Cr_{eq} 과 Ni_{eq} 의 당량비 (Ni_{eq}/Cr_{eq})비보다 높기 때문에 오스테나이트가 다량으로 석출된 결과에 기인한 것으로 생각된다.

그러나 STS321이나 347과 Duplex 스테인레스를 조합한 용접부에서는 용접금속중 페라이트 입계에서 입내로 성장한 오스테나이트의 석출량은 STS316에 비해 현저히 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 STS316에 비해 Ni_{eq} 이 낮기 때문에 상대적으로 페라이트가 안정화한 것에 기인한 것으로 생각된다. 특히 Duplex 스테인레스강의 fusion line에서 페라이트가 상당히 조대화하고 입계에서 오스테나이트가 석출하고 있음을 확인할 수 있었다. 그리고 고N인 Duplex 스테인레스강 (S32550)과 STS321, 347의 조합에서는 입계보다 입내에서 오스테나이트가 다량으로 석출하는 양상을 보이고 있는데 이는 고N에 기인하여 입내 오스테나이트 석출이 촉진되기 때문이다.

Fig. 2는 Duplex 스테인레스(STS329J3L)강과 오스테나이트계 스테인레스강 전자빔 용접부 상온인장 특성을 나타낸 것이다. 인장강도는 강종에 관계없이 비슷한 $75kg/mm^2$ 이상을 나타내었으며 항복강도 $50kg/mm^2$, 연신율 20%로 비슷한 수준이었다. 이것은 인장시험시 모두 강도가 낮은 오스테나이트계 스테인레스강의 모재에서 파단이 일어난 것에 기인할 결과이며 용접부 건전성을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

- 이종 스테인레스강의 전자빔 용접부 조직은 오스테나이트계 스테인레스강의 Ni_{eq} 과 Duplex 스테인레스강의 질소량에 따라 영향을 받았으며 고N에서 입내 오스테나이트의 석출이 크게 조장됨을 알 수 있었다.
- 스테인레스 이종재료 전자빔 용접에서는 STS329J3L과 STS316의 조합이 가장 우수한 강도특성을 나타내어 상온에서 $75kg/mm^2$ 과 $300^\circ C$ 및 $500^\circ C$ 에서 각각 $56kg/mm^2$, $53kg/mm^2$ 의 고온강도를 나타내었다.

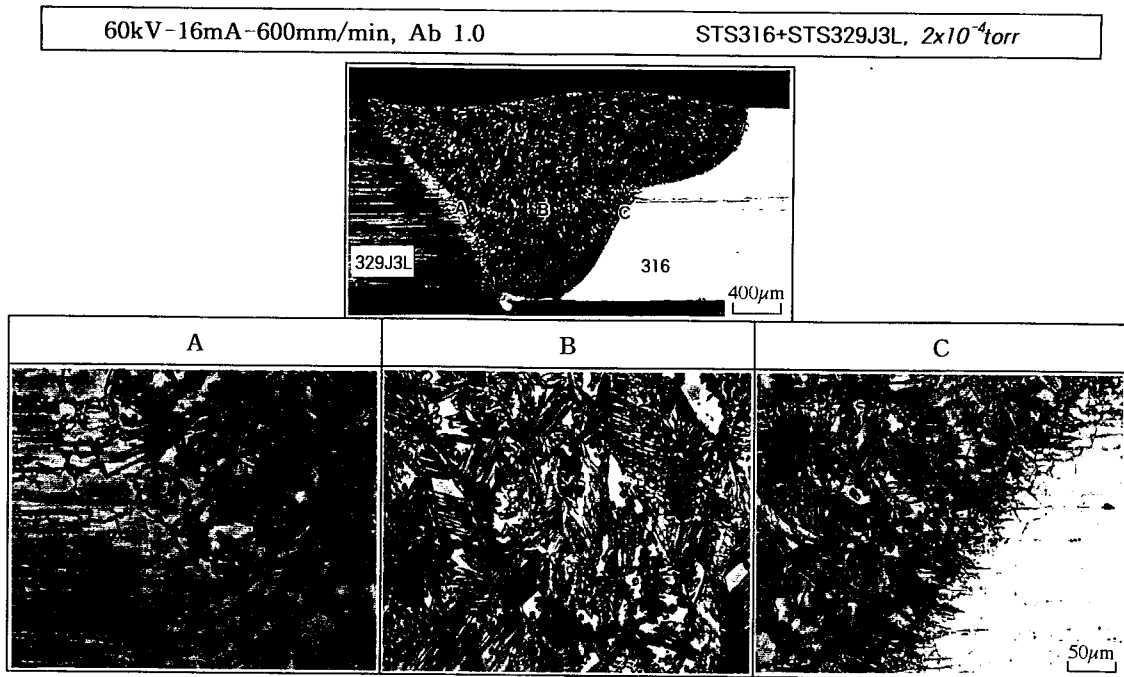


Fig. 1 Microstructure of electron beam welded joint (STS316/STS329J3L)

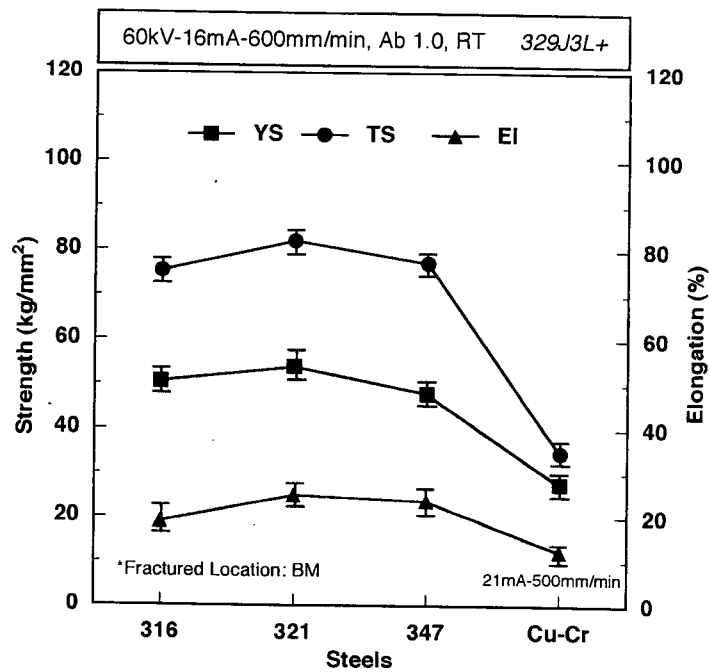


Fig. 2 Variation of tensile properties of EB welded joints for dissimilar metals