

# 주철/스테인리스강 이종금속 용접부의 조직 및 기계적 특성

## A Study on the Microstructure and Mechanical Properties of Cast Iron/Stainless Steel Dissimilar Weld

\*이종섭, \*김민중, \*이목영, \*\*박재용  
\*포항산업과학연구원, \*\*세종공업㈜

### 1. 서론

소음기 라인에는 주철, 페라이트계 및 오스테나이트계 스테인리스강, 탄소강, Al-coated 탄소강 등의 다양한 소재가 사용되고 있으며 이들을 조합하여 사용하기 위해서는 많은 부위에 이종금속 용접의 적용이 불가피한 실정이다. 최근 자동차의 수명 보증기간이 장기화함에 따라 소음기 라인에 적용되고 있는 다양한 종류의 이종금속 용접부가 문제시되고 있으며 그 중에서도 가장 취약한 부위가 주철/스테인리스강의 이종금속 용접부로서 이 용접부가 소음기 전체 라인의 수명을 결정하기 때문에 이에 대한 대책수립이 시급한 실정이다.

본 연구에서는 이 같은 주철/STS 이종금속 용접부에서 생성되는 다양한 형태의 미세조직을 해석함으로써 용접부의 조직특성을 이해하고자 하였으며 주철/스테인리스강의 조직 및 고온특성에 미치는 용접조건과 용접재료의 영향을 조사하여 용접부의 수명을 향상시킬 수 있는 대책을 수립하고자 하였다.

### 2. 실험방법

본 연구에 이용된 소재는 주철 (FCD-H)과 페라이트계 스테인리스강 (409L)이었으며 Table 1 과 2 에 STS 409L 과 주철 FCD-H 의 화학성분과 기계적 성질을 나타내었다. 기계적 성질은 소재 maker 에서 제공한 mill sheet 를 근거로 한 것으로서 주철이 STS 409L 보다 인장강도, 경도가 모두 높은 것을 알 수 있다. 시험편의 용접은 주철/스테인리스강의 용접재료로 현재 이용되고 있는 E309 와이어 (FCA wire)를 이용하여 용접전류를 190 ~ 240V, 전압을 22 ~ 24V 로 변화시켜 실시하였으며 용접부의 미세조직, 비드형상 등을 검토하여 적정 용접조건을 설정하고자 하였다.

한편 주철/STS 이종금속 용접부의 고온성능은 고온 크립 및 고온피로시험을 실시하여 평가하였다. 시험편을 제조하기 위하여 먼저 두께 15mm 의 주철과 스테인리스강 판재를 5 가지 종류의 용접재료를 이용하여 용접하였다. 사용된 용접재료는 Ni55 (Ni:55%, Fe: 45%), Ni99 (Ni: 99%), Inconel625 와 309 와이어 두 제품이었으며 그 중 309 와이어는 flux cored wire 이었으며 나머지는 모두 MIG/MAG 용 solid wire 이었다. Table 3, 4 에 각각 용접재료의 화학성분과 용접재료별 용접조건을 나타내었으며 Fig. 1 에 groove 형상과 적층순서를 나타내었다. Groove 는 X 형으로 하였으며 root gap 은 1 ~ 2mm 로 하였다. 이와 같이 용접된 시험편을 이용하여 직경 6mm, gage length 15mm 의 고온 인장 시험편을 제조하였으며 용접부는 시험편의 gauge 부분에 모두 포함되도록 하였다.

이종금속 용접부의 조직은 다단 에칭을 실시하여 관찰하였는데 먼저 Nital 용액을 (HNO<sub>3</sub> 4% 용액) 이용하여 주철을 에칭하고 빌헬라 용액 (100ml Ethyl Alcohol + 5g picric acid + 3~4ml HCl)

으로 페라이트 모재를 에칭한 후 최종적으로 크롬산 용액(10g CrO<sub>3</sub> + 100ml H<sub>2</sub>O) 을 이용하여 용착금속을 에칭하였다. 이 같이 에칭된 시험편을 이용하여 광학 현미경과 SEM 으로 모재, 용착금속 HAZ 를 포함한 여러 부위들의 미세 조직을 관찰하였으며 성분 원소의 확산 및 용접에 의한 부위별 성분변화는 SEM 에 부착된 EDS 또는 WDS 를 이용하여 조사하였다. 한편 용접부에서 관찰되는 상들을 확인하기 위해서 미소경도 시험도 실시하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

주철/스테인리스강 용접부에서는 다양한 형태의 조직이 관찰되었으며 Fig. 2 에 용접부의 조직을 나타내었다. 용착금속은 초정 오스테나이트로 응고한 조직으로 셀형 dendrite 조직과 등축정이 혼재하는 형태를 나타내었으며 용착금속으로부터 주철측에서는 천이역, 미혼합역 및 HAZ 가 관찰되었고 스테인리스강측에서는 천이역과 마르텐사이트 band 가 관찰되었다. EDS 에 의한 성분 분석 결과 주철측 천이역에서는 Cr 함량이 수 % 정도 감소하고 주철의 성분이 소량 확산되어 있었으며 미혼합역에서는 주철의 성분계에 소량의 Cr, Ni 가 확산되어 있었다. 한편 스테인리스강측의 천이역에서는 Cr 의 함량은 용착금속에 비해 2% 정도 낮게 나타났으나 Ni 함량은 변화가 없었고 천이역 외곽의 band 는 주로 주철과 성분이 거의 동일하였다. 용접부의 각 조직에 대한 경도시험 결과 주철측의 미혼합역 및 HAZ, 스테인리스강 측의 band 는 마르텐사이트 조직으로 확인되었으며 조직관찰 결과에 의하면 주철/스테인리스강 용접부에서 가장 취약한 부위는 주철측 미혼합역과 HAZ 임을 알 수 있었다.

용접부의 고온성능에 미치는 용접재료의 영향을 검토하기 위하여 실시한 고온피로시험 결과를 Fig. 3 에 나타내었다. 시험은 변형량을 1%, 0.6%로 변화시켜 실시하였으며 피로수명은 두 가지 조건 모두에서 Ni55 가 가장 길었으며 309 가 약간 낮은 값을, Ni99 가 수명이 가장 짧게 나타났다. 시험결과를 종합해 보면 Ni55 가 주철/스테인리스강의 이종금속 용접재료로 가장 바람직한 것으로 판단되었으며 Inconel625, Ni99 는 피로수명이 짧아 이 용도로는 적당하지 않았고 309 는 maker 에 따라서 성능에 다소 차이가 있었다. 현재 사용하고 있는 309 와이어와 Ni55 의 피로수명 차이가 그렇게 크지는 않았으나 실제 실차에서 가해지는 변형량이 시험 조건보다 훨씬 적을 것으로 예상되기 때문에 실차 적용시에는 상당한 차이가 있을 수 있을 것으로 예상되며 이에 대한 확인을 위하여 실차 적용시험을 준비 중에 있다. 한편 고온크립시험에서는 하중에 관계없이 모든 시험편이 주철 모재에서 파단이 일어나 시험결과에 의미가 큰 없었으나 이 결과는 주철/스테인리스강 용접부의 고온 특성을 향상시키기 위해서는 소재 자체를 주철에서 주강 또는 스테인리스 주강으로 변경하는 것이 가장 근본적인 해결책임을 시사하고 있다.

Table 1 Chemical compositions of base metals used in this study

Specimen	Chemical composition									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti
FCD-H	3.48	3.30	0.17	0.016	0.004	-	-	-	-	-
STS409L	0.01	0.56	0.29	0.020	0.001	0.03	0.08	11.26	-	0.19

Table 2 Mechanical properties of the base metals used in this study

■ Specimen	Mechanical properties			
	Y.S (MPa)	T.S (MPa)	El. (%)	Hardness
FCD-H	-	481	-	195 (HB)
STS409L	221	410	40.0	125 (Hv)

Table 3 Chemical compositions of welding wires

■ Wires	C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	Fe	Nb
Ni 55	0.05	0.15	0.25	-	55.9	-	-	-	43.6	-
Ni 99	0.05	0.05	0.22	-	99.6	-	-	-	-	-
M625	-	-	-	21.5	61.0	-	9.0	0.2	2.5	3.65
309-1	0.03	0.48	1.57	-	12.4	23.9	-	-	-	-
309-2	0.03	0.55	1.36	-	13.6	23.5	-	-	-	-

\*309-1 & 309-2: FCA wire, all deposited metal

Table 4 Welding conditions for various welding wires

Wire	Current	Voltage	Gas	Preheating & interpass temp.	Remarks
Ni55	180±10A	24V	Ar	100±10°C	solid wire
Ni99	180±10A	24V	Ar	100±10°C	Solid wire
M625	180±10A	24V	Ar	100±10°C	Solid wire
309-1	190±10A	25V	Ar+2% O2	100±10°C	FCA wire
309-2	160±10A	23V	CO2	100±10°C	FCA wire

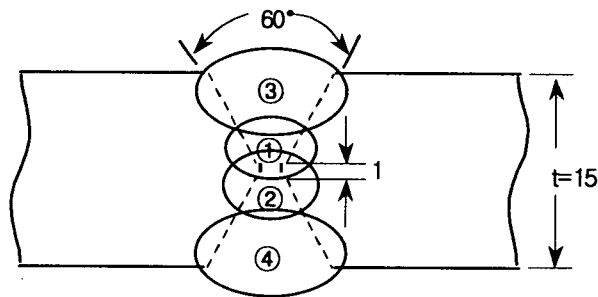


Fig. 1 Groove shape and welding sequence

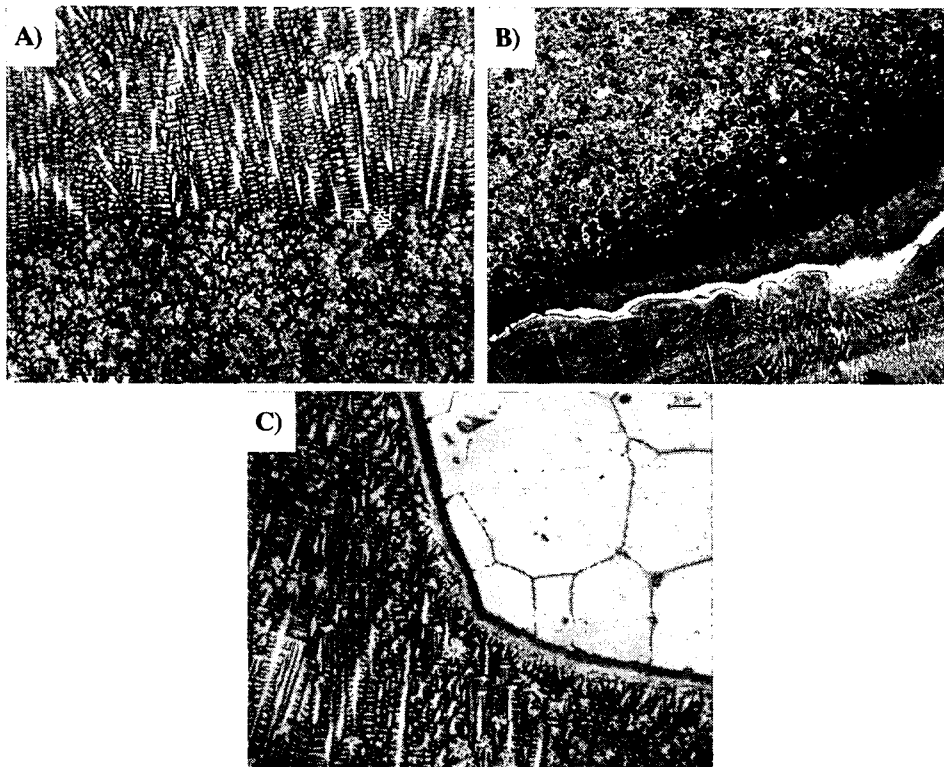


Fig. 2 Microstructural evolution in cast iron/ferritic stainless steel dissimilar weld.

A) weld metal, B) cast iron side, C) stainless steel side

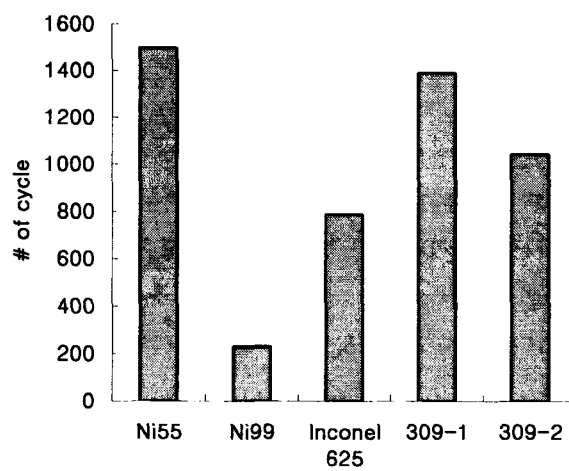


Fig. 3 Effect of welding wires on high temperature fatigue life (strain range: 0.6%).