

# 페라이트계 스테인리스강에 있어서 Laser 용접금속의 기계적 성질에 미치는 Filler wire의 영향

## Effect of Filler Wires on Mechanical Properties of Laser Weld Metals in Ferritic Stainless Steels

안 상근, 최 두열, 권 영순\*

포항제철(주) 기술연구소 스테인레스연구그룹, \*울산대학교 재료·금속공학부

### 1. 서론

페라이트계 스테인리스강은 오스테나이트계 스테인리스강에 비해 내 SCC 특성이 우수할 뿐 아니라, 제조 Cost 측면에서도 유리하기 때문에 구조용 재료로서 사용 확대가 기대되고 있으나, 용접성의 열위로 인해 용도 개발에 직접적인 장애가 되고 있는 실정이다.

한편 레이저 용접은 아크 용접에 비해 저입열 용접이 가능하기 때문에 페라이트계 스테인리스강과의 적합성이 매우 우수하다. 그러나 페라이트계 스테인리스강의 레이저 용접금속은 결정립의 조대화, 제 2상의 석출 등으로 연성 및 인성의 저하가 발생할 수 있기 때문에, 레이저 용접부 성능은 용접금속의 품질 확보가 관건이라고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 페라이트계 스테인리스강의 레이저 용접금속의 기계적 성질을 개선하기 위해 Filler wire의 사용을 검토했다. 즉 Filler wire에 의한 용접금속의 화학조성을 변화시킨 다음, 이들이 연성 및 인성에 미치는 영향을 조사했다. 이로부터 페라이트계 스테인리스강의 레이저 용접부 성능 확보가 가능한 Filler wire의 사용기술도 확립했다.

### 2. 시험재 및 실험방법

시험재중 모재는 두께 4.0 mm의 열연 미소둔재로서 19Cr-0.4Nb가 주성분인 완전 페라이트계 스테인리스강을 사용했고, Filler wire는 0.9 mm 직경의 AWS ER308L(19.6Cr-9.6Ni), ER309L(23.5Cr-13.3Ni) 2종의 시판재를 사용했다.

레이저 용접은 스테인리스부 No.2 소둔·산세공장에 가동중인 최대 출력 약 5.5 kW의 일본 MELCO사 용접기를 사용했다. 레이저 용접변수중 출력은 5 kW로 고정했고, 용접속도 1.1~1.2 mpm, Filler wire 공급속도 2.2~3.0 mpm으로 4 수준 변화시켰다. 또 맞대기 이음부의 Gap은 0.2 mm, 보호가스는 He, 40 l/min 조건을 사용했다. 각 용접조건에 따른 용접부의 품질특성은 인장시험, 90° 반복굽힘(JIS Z 3126), 용접부 Vickers 경도시험 및 용접금속의 충격시험으로 평가했고, 결과분석을 위해 용접금속의 화학성분, 미세조직 및 석출특성 변화 등을 조사했다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Table 1은 각 용접조건에 따른 용접금속의 화학조성을 분석한 결과를 나타낸 것이다. 여기서 Filler wire의 종류 및 사용조건에 따라 Ni 함량이 약 2.0에서 3.5% 비교적 넓은 범위로 변화되었음을 알 수 있고, 시험재의 주성분인 Cr, Nb 함량은 거의 변화가 없었다. 또 용접금속의 품질과 밀접한 관계가 있는 N 함량이 모재보다 약 0.018% 증가했고, O의 증가도 현저함을 알 수 있다. 이러한 화학조성을 갖는 각 용접금속의 기계적 성질을 Fig. 1에 나타냈

다. (a)는 90° 반복굽힘 시험결과로서, 용접금속의 Ni 함량이 약 2.4% 이상에서는 반복 굽힘 횟수가 10회를 상회하는 양호한 용접부 연성을 보였다. 또 (b)는 용접금속의 2.5 mmt sub-size 상은 충격시험 결과로서, 용접부 연성과 마찬가지로 Filler wire의 사용조건에 따라 충격인성이 현저히 변화했다. 따라서 본 시험재의 레이저 용접부 및 용접금속의 연성 및 인성은 Filler wire 조건이 직접적인 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

Fig. 2는 모재(As-rolled 조건) 및 레이저 용접금속의 시험온도 및 Ni 함량에 따른 충격특성을 나타낸 것이다. 모재 및 Without filler wire 조건의 레이저 용접금속은 vTrs(연성-취성 파면 천이온도)가 각각 약 10 및 60°C로서, 용접금속의 취화가 현저함을 알 수 있다. 또 Filler wire를 사용한 용접금속도 Ni 함량이 약 2.4% 미만에서는 모재보다 열위한 충격특성을 나타냄으로써, 레이저 용접부 성능에 문제가 될 수 있음을 보여주고 있다. 그러나 3.0% 이상의 Ni 함량을 갖는 용접금속은 모재보다 충격특성이 우수하여 As-welded 조건에서 사용 성능을 만족시켰다. Fig. 3은 Ni 함량에 따른 용접금속의 충격특성을 vTrs로 직접 비교한 것이다. 전술한 바와 같이 Ni 함량이 증가함에 따라 vTrs도 저온측으로 이동했고, 실제 vTrs는 0.4% Ni재가 약 60°C인 반면 3.0% Ni재는 약 -10°C로서 70°C 정도의 현저한 차이를 나타냈다. 따라서 19Cr 페라이트계 스테인리스강에 있어서 레이저 용접부의 성능을 확보하기 위해서는 용접금속의 Ni 함량을 3.0% 이상 제어할 수 있는 Filler wire의 사용기술이 필수적이다. 그러나 용접금속의 Ni 함량을 약 4.0% 이상 확보하기 위해 Filler wire의 공급속도를 증가시키면, 레이저 빔의 간섭현상으로 용입형상이 불균일하게 되고, 또 용접금속에서 unmixed zone이 발생하여 인성 및 연성이 오히려 저하하기 때문에 본 시험조건에서 Ni 함량 및 Filler wire 공급속도의 최대값이 존재함을 확인했다.

이와같이 페라이트계 스테인리스강에 있어서 레이저 용접금속의 취화현상 및 Ni 함량이 기계적 성질이 향상시키는 원인을 검토하기 위해 미세조직, X-ray 분석, 파면관찰 및 석출특성을 분석한 결과, 다음과 같이 정리할 수 있다.

레이저 용접금속의 취화현상은 결정립 조대화과 용접중 대기로부터 침투한 N, O가 (Cr, Nb)C,N 석출물 및 Oxide를 증가시켰기 때문이라고 생각된다. 또 용접금속에서 Ni 함량이 증가할수록 (Cr,Nb)(C,N) 석출물이 감소함으로써, 이것이 용접부 연성 및 인성에 영향을 미친 것으로 추정된다. 여기에 대해서는 발표시 설명할 예정이다.

#### 4. 결론

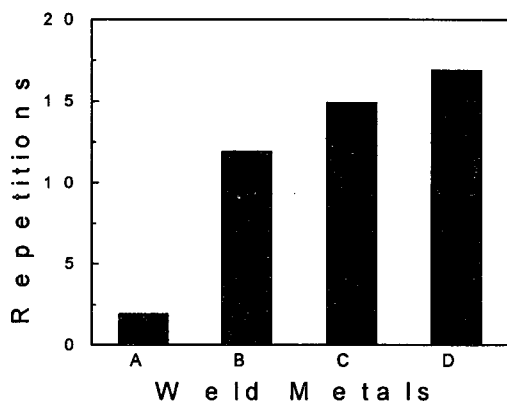
가. 19Cr 페라이트계 스테인리스강의 레이저 용접부 취화는 용접중 대기로부터 용접금속으로 침투한 N, O의 영향으로 생각된다.

나. 레이저 용접금속의 Ni 함량이 약 3.0% 이상인 경우, 용접금속의 연성 및 인성이 현저히 개선되었다.

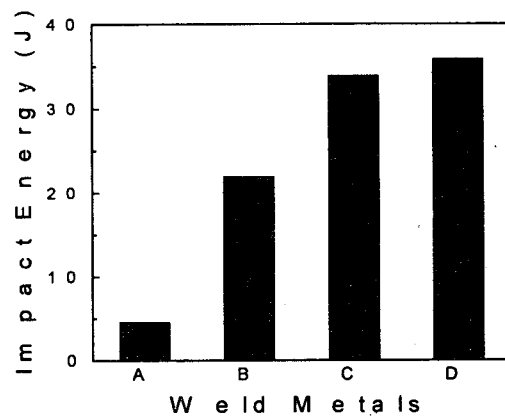
다. 용접금속의 Ni 함량이 증가할수록, 탄·질화물의 석출량이 감소했다.

Table 1 Chemical compositions of weld metal

Weld metal	Filler wire	Welding speed(mpm)	Feeding speed(mpm)	Cr	Ni	C	N	O
A	308L	1.2	2.2	19.5	2.07	0.010	0.029	0.042
B		1.1	3.0	19.6	2.36	-	-	-
C	309L	1.1	2.5	19.9	3.03	-	-	-
D		1.1	3.0	20.0	3.49	0.011	0.030	0.047
Base metal				19.3	0.35	0.008	0.012	0.006



(a)



(b)

Fig. 1 Mechanical properties of laser weld metal at R.T:  
(a) 90° cyclic bending test, (b) Charpy impact test

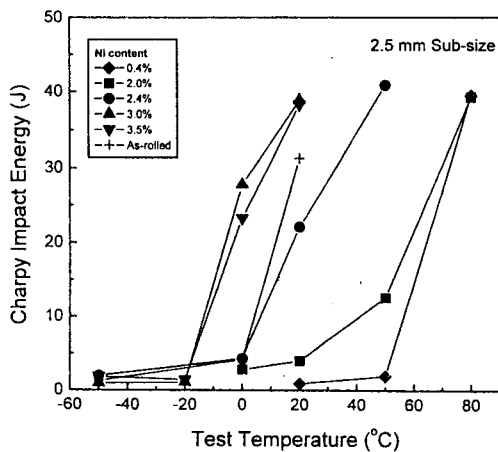


Fig. 2 Effect of test temperature on impact properties of weld metals

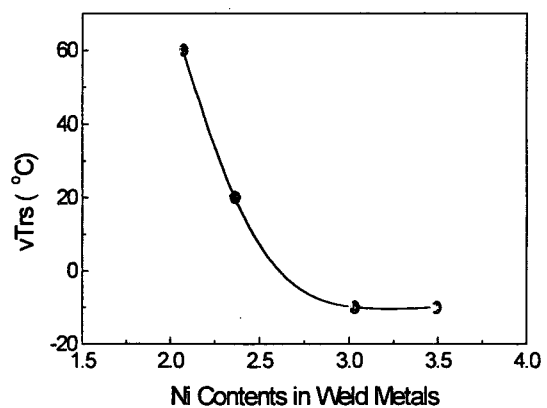


Fig. 3 Effect of Ni contents on impact properties of weld metals