

Cu-Ni Clad Plate 용접 공정 고찰

A Study on the Welding Procedure of Cu-Ni Clad Plate

*이재웅, 송근호, 이경운

한국중공업(주) 기술연구원, 경남, 창원

1. 서론

담수설비의 Water Box 주자재로 적용되고 있는 Cu-Ni Clad Plate(Carbon Steel + Cu-Ni 합금)는 우수한 내식성에도 불구하고 용접시 비철합금 자체의 용접결함 민감성 뿐만 아니라 이종재질 용접 경계부의 희석에 따라 용접결함 발생율이 높다.

또한 Clad Plate의 맞대기 용접시 이면용접 수행을 위한 Gouging, Turn-over, Grinding 공정으로 원가상승의 원인이 되므로 공정단축이 필요하다. 이를 위하여 적절한 개선부의 설계 및 Ceramic Backing 재 적용 등 다양한 용접공정에 따른 시험을 실시하여 공정단축과 결함 발생을 줄이고 용접부의 물성치를 확보하기 위해 본 연구를 수행하였다.

2. 시험 방법

Cu-Ni Clad Plate의 효율적인 용접방법을 파악하기 위하여 내면개선 및 외면개선, 무개선 시편에 따른 Decladding, Non-Decladding, Ceramic Backing 적용 방법별 용접시험을 수행하고 용접방식에 따른 작업성 및 이음부 특성을 고찰하였다.

V-Groove 용접의 탄소강측은 일반 탄소강 용가재를 이용한 FCAW 기법을 적용하였으며, Clad 층 용접은 1st layer는 Monel, 2nd layer는 Cupro-Nickel(70:30) 용가재를 이용한 GTAW 기법을 적용하였다. Square-Groove(무개선 시편)용접시 탄소강측은 SAW 기법을 적용하였다.

Table 1은 적용 용접조건을 나타내고 있으며, 용접개선 형상을 Fig.1~6에 나타내었다.

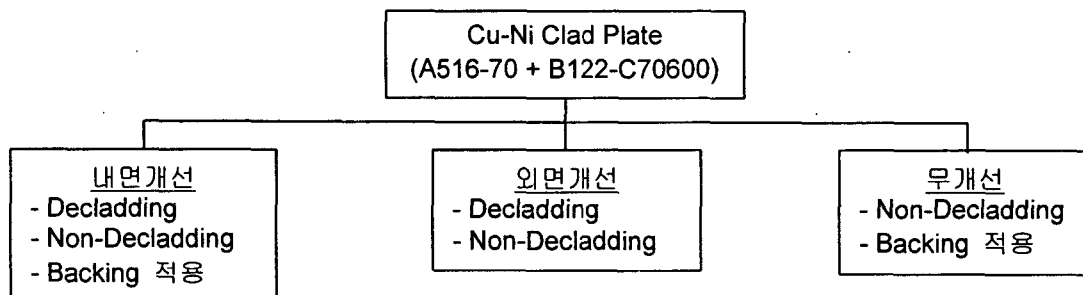


Table 1. Welding Variables

구분	용가재 AWS Cl.		Process	전류 (A)	전압 (V)	용접속도 (cm/min)
내면개선	C/S 부	E71T-1(12φ)	FCAW	280~300	30~32	32~37
외면개선	Clad 부 1st	ERNiCu-7(12φ)	GTAW	170~180	14~15	12~14
무개선(Clad 부)	Clad 부 2nd	ERCuNi(70/30)(12φ)	GTAW	170~180	14~15	12~14
무개선	C/S 부	EH-14(4.0φ)	SAW	500~550	27~30	35~38

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 용접공정 측면

모재를 먼저 용접후 Clad 부를 용접하였으며 Clad 부 용접시 모재로부터 Fe 침입 또는 Clad 부의 Cu 가 모재로 혼입되는 것을 막기 위하여 가능한 입열량을 작게 하였다. 용접공정 절감을 위해서는 용접 Pass 단축과 Grinding 작업 최소화가 되어야 한다.

1) 내면개선 방법

Non-Decladding 방식(Fig.1)은 모재와 Clad 부의 경계가 불명확하여 작업성이 떨어지며 Clad 부에 대한 Grinding 공수가 많아 비효율적이다. Decladding 방식(Fig.3)은 모재와 Clad 부의 경계가 명확하여 작업이 용이하며 Clad 부에 Fe 침입 가능성이 작다.

Backing 적용방식은 이면공정 생략으로 공정 절감이 우수하며, Clad 부를 Decladding 하여 용접 경계부 구분이 명확하므로 작업이 용이하다.

2) 외면개선 방법

외면개선 방법은 전면 C/S 부와 이면 Clad 부로 용접부가 명확히 구분되어 용접이 용이하였다. Non-Decladding 방식(Fig.2)은 C/S 부의 초층 용접시 Clad 부로 C/S 용가재의 Fe 침입 가능성이 높으므로 이를 제거하기 위한 Back Gouging 공수가 많으나, Decladding 방식(Fig. 4)의 경우 용접공정 절감효과는 크지 않지만 작업성이 매우 우수하다.

3) 무개선 방법

Non-Decladding 방식(Fig.5)에 SA 용접결과 Gap 0, 1mm 시편은 용입이 약 4mm 로, Gap 2mm 시편의 경우 용입이 6mm 로 용입이 불충분하고 단지 여성고만 높아 Grinding 공수가 많다. Backing 재 적용 Decladding(Fig.6) 방식은 C/S 부에 SA 용접결과 Backing 재가 용락되어 정상적인 용접을 수행하지 못하였으며, 용락 방지를 위해 전류를 낮추면 용입이 불충분하게 된다.

3.2 용접 이음부 특성 측면

1) 조직/경도/인장/굽힘 특성

Fig.7~8 은 상기의 용접조건중 용접 작업성 및 경제성이 우수한 외면개선 Decladding 개선형상에 대한 조직(Macro, Micro) 및 경도분포를 나타내고 있다.

용접부는 Carbon Steel + Monel + Cupro-Nickel 의 3 영역으로 이루어져 있으며, 용착금속은 전형적인 Dendrite 응고조직을 나타내고 있다. 실제 고배율 관찰에서도 응고균열은 관찰되지 않았으며, 용접 열영향부(HAZ)는 모재에 비해 결정립 성장이 뚜렷하며, 일부 Twin도 관찰되고 있다. 모재는 압연방향으로 길게 성장된 압연조직을 나타내고 있다.

경도분포 측정 결과 Weld Metal 114~128Hv, Base Metal 115~116Hv 를 나타내고 있으며, 용접 열영향부(HAZ)는 84~104Hv 로서 경도가 다소 낮게 나타났는데 이것은 상기 조직에서 알 수 있는 바와 같이 용접 열영향부(HAZ)의 결정립 성장 때문인 것으로 판단된다.

Fig.8 은 개선형상별 인장강도를 나타내고 있는데, 개선형상에 관계없이 최소 인장강도가 51Kg/mm² 이상으로서 ASME Code 를 만족하는 것으로 나타났다.

ASME Sect. IX 기준 굽힘시험(180 ° Guided Bend Test)결과 일부 시험편에 미세균열(0.3~1.6mm)이 발생하였지만, ASME Code 의 규정치를 만족하는 것으로 나타났다.

2) 화학성분 분석

Fig.9 는 Cu-Ni Clad Plate 의 내균열성 및 내식성 확보에 중요한 인자로 작용하는 용착 금속 최종층의 Fe 함량(Fe Dilution)을 습식분석을 통하여 분석한 결과 개선형상에 관계없이 최적 규정치로 알려져 있는 5% 미만을 만족하고 있는데, 실제 이와 같이 Fe 함량에 대한 내부식성 혹은 용접균열 감수성에 미치는 정확한 규정치는 연구자들에 따라 다소 차이가 발생하고 있기 때문에 향후 Fe 함량에 대한 내부식성 및 용접균열 감수성 등의 체계적인 평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

Cu-Ni Clad 강의 효율적 용접기법 파악을 위하여 Backing 재 적용방식과 개선 방법별로 용접시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 용접 공정 측면 -

기존에 주로 적용된 Non-Decladding 내면개선 및 외면개선 방식은 Clad 부에 Fe 침입으로 용접결함 발생율이 높고, 용접공수가 많이들어 비효율적인 방법으로 사료된다.

Decladding 외면개선 방식은 전면 C/S 부, 이면 Clad 부로 용접부 구분이 명확하여 작업이 용이하며 Clad 부의 Gouging 생략으로 공정단축 효과가 높아 경제성 및 작업 효율성이 가장 우수한 것으로 나타났다.

- 용접 이음부 건전성 측면 -

일부 시험편에 미세균열이 발생하였지만 시험편 모두 규정치를 만족하는 범위를 나타내고 있다.

Fe Dilution 분석결과 개선형상에 관계없이 최적 규정치로 알려져 있는 Max. 5% 미만을 만족하고 있으며, 인장강도 및 굽힘시험 결과도 개선형상과 관계없이 ASME Code 규정치를 만족하는 것으로 나타났다.

※ 참고문헌

1. INCO, "Copper-Nickel and Other Alloys for Desalination Plant"
2. Metal Technology, "Steam Porosity Formation in GTAW of Copper" 1975.6.
3. Welding Hand Book, "Welding of Copper Alloys"

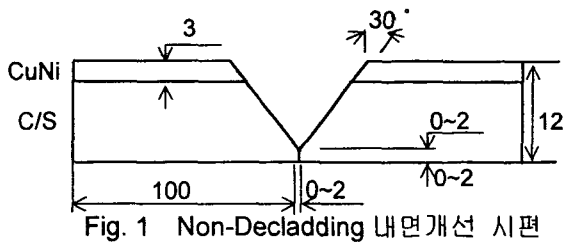


Fig. 1 Non-Decladding 내면개선 시편

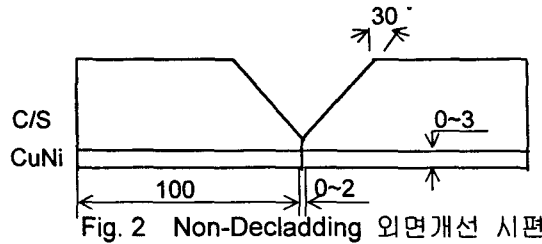


Fig. 2 Non-Decladding 외면개선 시편

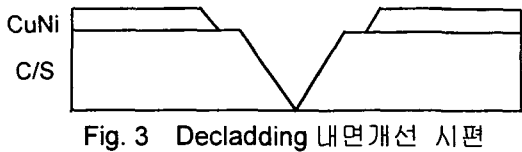


Fig. 3 Decladding 내면개선 시편

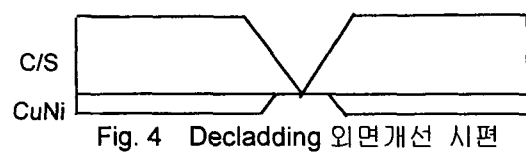


Fig. 4 Decladding 외면개선 시편

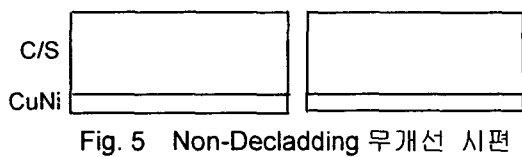


Fig. 5 Non-Decladding 무개선 시편

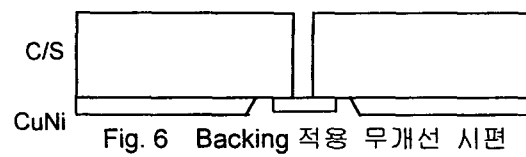
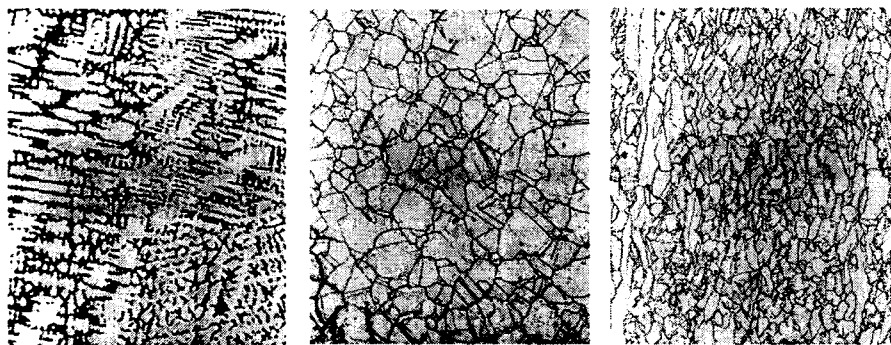


Fig. 6 Backing 적용 무개선 시편



(a) Weld

(b) HAZ

(c) Base

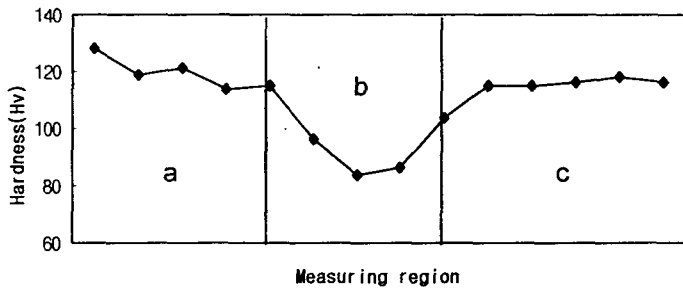


Fig. 7 Micro hardness distribution & Microstructure

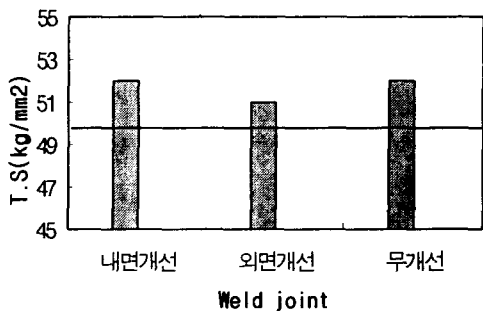


Fig. 8 The properties of tensile stress

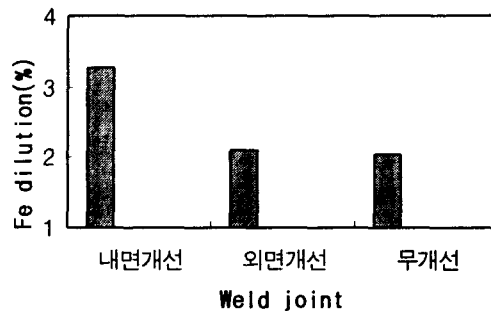


Fig. 9 The result of Fe dilution