

Cu-Ni Clad plate 용접 특성 연구

A Study on Welding Characteristics of Cu-Ni Clad plate

*박정채, 송근호, 이경운
한국중공업(주) 기술연구원, 경남, 창원

1. 서 론

담수 설비의 Water Box 주자재로 적용되고 있는 Cu-Ni Clad plate(Carbon Steel + Cu-Ni 합금) 용접시 비철합금 자체의 용접결함 민감성 뿐만 아니라 이종재질 용접 경계부의 희석에 따라 용접결함 발생율이 높기 때문에 고품질 용접이 가능한 GTAW 또는 Pulse-MIG 기법 등이 적용되고 있다. 특히 Pulse MIG 용접기법은 GTAW 보다 생산성이 높은 특성을 가지므로 향후 적용도가 증가할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 Pulse GMAW 용접기를 이용한 Cu-Ni Clad Plate 용접 특성을 고찰함과 동시에 실용접 개선 형상(V-Groove 외면개선)에서의 용접 적용 특성을 비교 분석하였다.

2. 실험 방법

Table 1.은 시험 및 모재 사양, Table 2.는 용가재 사양 및 용접조건을 나타내고 있다.

Table 1. 모재 규격 및 사양

용접형상	모재 재질	ASTM 사양
Clad Plate(groove & Dilution)	Cu-Ni Clad Plate	A516-70 +B171-C70600
Bead on Plate	Carbon Steel	A516-70

Table 2. 용접조건 및 용가재 사양

구분	용가재 AWS Cl.		전류 (A)	전압 (V)	용접속도 (cm/min)	Peak Current(A)	
Bead on plate	ERNiCu-7+ERCuNi(70/30)(1.2φ)		150~160	24~25	40~45	350	450
	ERNiCu-7+ERCuNi(70/30)(1.2φ)		180~190	25~26		350	450
Fe Dilution	ERCuNi(70/30)(1.2φ)		150~160	24~25	40~45	350	
Groove plate	C/S 부	E71T-1(1.2φ)	320~330	30~35	30~35	-	
	Clad 부 1st	ERNiCu-7(1.2φ)	190	26	30~35	350	
	Clad 부 Rem.	ERCuNi(70/30)(1.2φ)	183	26~27	35~40	350	

모든 용접은 Pulse-MIG(Synergic Pulse)용접기법을 적용하여 그림 1 의 Bead on plate 용접은 1st layer 는 Monel, 2nd layer 는 Cupro-Nickel(70:30)용가재를 적용하였고 그림 3 의 Fe

dilution 용접은 Cupro-Nickel(70:30) 용가재를 적용하였다. 그림 2의 Groove 용접은 탄소강 측은 Flux cored wire 용접기법을 적용하였으며, 이후 Clad 층 용접은 Bead on plate 용접과 동일하게 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 용접 특성 고찰

용접은 가능한 내부식성 유지를 위해 3mm 이상을 유지하면서 그라인딩 작업을 최소화할 수 있도록 하여야 한다. 그림 4.은 용접조건별 Bead on 용접시험편의 거시조직(Macrostructure)을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 1st layer는 Monel(70%Ni-30%Cu), 2nd layer는 Cupro-Nickel (70%Cu-30%Ni)의 2 layer로 이루어져 있다.

거시적 결함은 발견할 수 없었으며, 전반적으로 양호한 용접성을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 저전류 영역에서 Peak current의 영향이 큰 것을 알 수 있는데, Peak current가 높은 시험편의 경우 2nd layer의 Cupro-Nickel 층이 1st layer인 Monel 층을 파괴하여 모재인 탄소강과 거의 경계를 형성하고 있는 것을 알 수 있다. 만약 Cupro-Nickel 층이 모재인 탄소강과 용융하여 희석층을 형성한다면 모재인 탄소강 측으로의 Cu 확산에 따른 Copper contamination crack의 발생 위험이 높아지며, 또한 Fe의 Cu 합금쪽으로 확산에 따른 내부식성 저하를 초래하기 때문에 저전류의 경우 Peak current를 낮게 설정하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 고전류 영역에서는 Peak current의 영향에 관계없이 안정적인 용접형상을 나타내고 있지 못하고 있다.

3.2 Fe 희석

Cu-Ni Clad plate 용접시 가장 중요시 요구되어지는 성질중의 하나가 용착금속 최종층의 Fe 함량(Fe Dilution)이다. Fe 함량이 어느 일정값 이상이 되면 내부식성에 치명적인 영향을 미칠 뿐만 아니라 굽힘시험시 균열 발생 Site로 작용한다고 알려져 있기 때문에 일반적으로 Fe 함량을 5%이하로 규제하고 있다.

그림 5는 용접조건별 Peak current가 Fe Dilution에 미치는 영향을 나타내고 있다. 저전류 영역에서는 Peak current 낮은 경우 4.86%(CKL1)로 5% 미만을 만족하는 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 상기에서 설명한 Macro 조직 사진 결과와 일치하는 것으로 저전류 영역에서는 1st layer인 Monel 층이 안정적으로 형성되어 Fe의 희석을 방지한 것으로 사료된다.

Bead on 용접시험에 따라 Pulse-MIG 용접변수를 설정하여 Clad 두께별 용접을 실시하여 표면 0.5mm에서 Fe 함유량을 측정하는 용접시험을 실시하였다. 그림 7의 1mm 두께 Clad 부에서 일부 Ni Buffer 층이 용해되어 모재강판 내부로 용착이 이루어지고 있는 것을 거시적으로 확인할 수 있으며, 그림 6과 같이 Fe의 함유량(8.19%)이 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 한편 Clad부 0mm에서 Fe 함유량이 줄어드는 이유는 다층용접을 실시한 결과로 사료된다. 또한 Bead on 용접시험의 고전류에서 다른 용접조건에 관계없이 5% 규정을 초과하는 것을 알 수 있다. Fe의 희석을 측면을 고려한다면 용접조건은 가능한 입열량을 줄이는 것이 바람직한 것으로 생각되어진다.

용착 이음부의 건전성을 확보하기 위하여 측면굽힘시험(Guided side bend)을 실시한 결과를 나타내고 있다. 용접조건 및 용접 Power source 종류에 관계없이 모두 ASME Spec.규정치를 만족하는 것으로 나타났다. 즉 Fe 희석정도가 굽힘시험에 의한 연성저하에 미치는 영향은 그다지 크지 않은 것으로 나타났다.

Table 3. The results of side bend test

시험편분류	시험횟수	시험조건(Angle)	결과
CKL1,CKL2,CKH1,CKH2	시험편당 2 회	180 °	No open defect

3.3 Groove 용접

그림 8은 Groove 용접에 대한 거시조직(Macrostructure)을 나타내고 있다. Carbon Steel은 ER71T-1으로 FCAW 용접을 실시하였으며 Clad 부의 1st layer는 Monel(70%Ni-30%Cu), 2nd layer는 Cupro-Nickel(70%Cu-30%Ni)로 이루어져 있다 용접은 전면 용접후 이면 용접을 수행하였다.

표면부 0.5mm 지점에서의 Fe 함량을 측정한 결과 4.23%로서 당사의 규정치인 5% 미만을 만족하였지만, 용접조건의 정확한 설정이 이루어지지 않을 경우(입열량이 높을 경우) Fe 함량은 증가할 가능성이 높기 때문에 안정적인 Fe 함량을 만족하기 위해서는 용접조건의 설정시 세심한 주의가 요구된다.

4. 결 론

- 1) Cu-Ni Clad Plate 맞대기 용접시 Pulse-MIG 기법을 적용하기 위해서는 용접변수는 다음 표와 같이 전류는 낮게 유지하고 Peak Current는 350A 이하로 유지한다.

Table 4. 용접변수

용가재 AWS Cl.	Wire Dia. (mm)	전류 (A)	전압 (V)	용접속도 (cm/min)	Peak Current(A)
ERNiCu-7+ERCuNi(70/30)	Ø12	150~160	24~25	40~45	350

- 2) Cu-Ni Clad 부 용접부로 Fe Dilution을 5%이하로 유지하기 위해서는 용접 Clad 부 두께가 2mm 이상에서는 Cu-Ni 재를 이용하여 Pulse-MIG 기법을 적용하고, 용접 Clad 부 두께가 2mm 이하에서는 Monel 재로 초층 용접을 실시한 후 Cu-Ni 재를 이용하여 Pulse-MIG 기법을 적용한다.

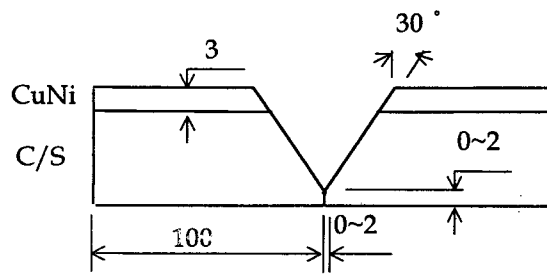
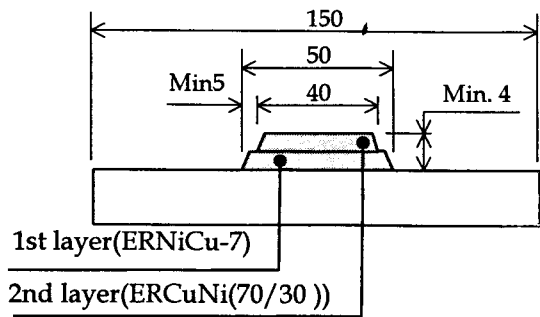


그림 1. Clad plate 용접 시공 단면 형상

그림 2. Groove plate 용접시공 개선 단면 형상

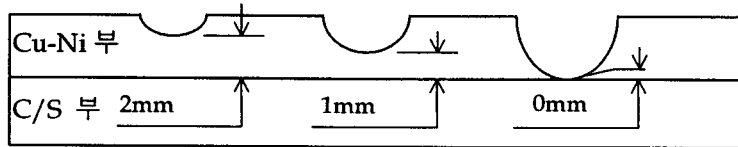


그림 3. Fe Dilution 용접 시공 형상

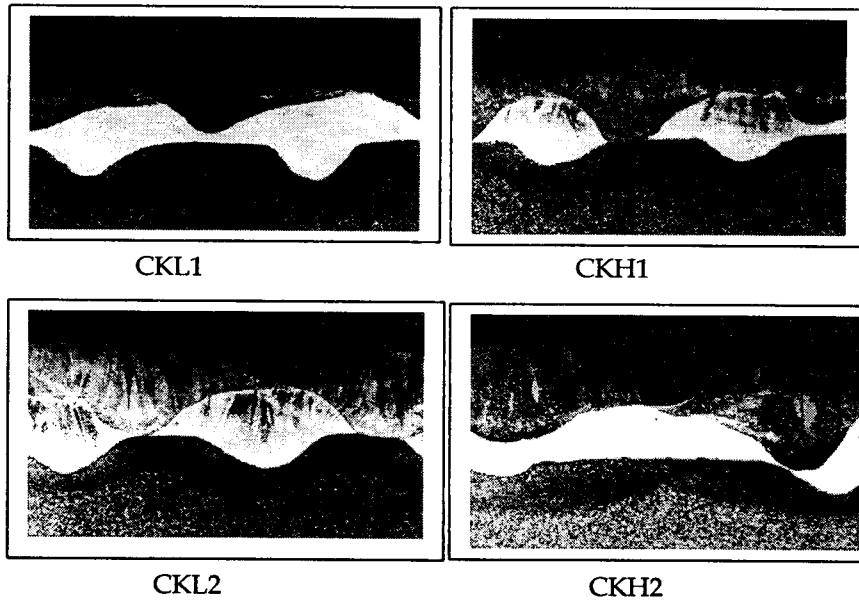


그림 4. Bead on plate 용접 거시 조직

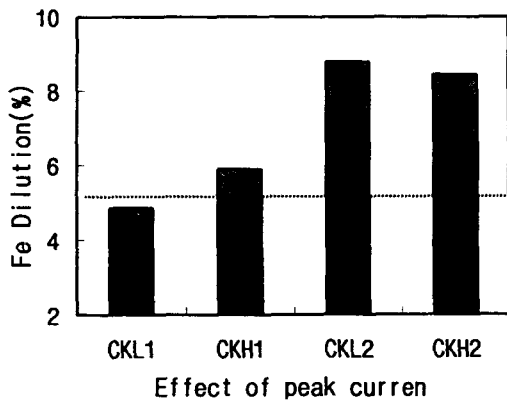


그림 5. Fe 희석율에 미치는 Peak current의 영향

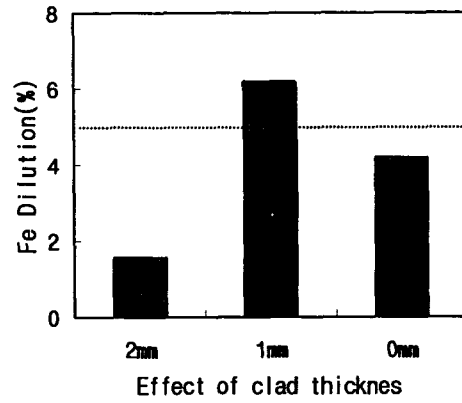


그림 6. Fe 희석율에 미치는 Clad thickness의 영향

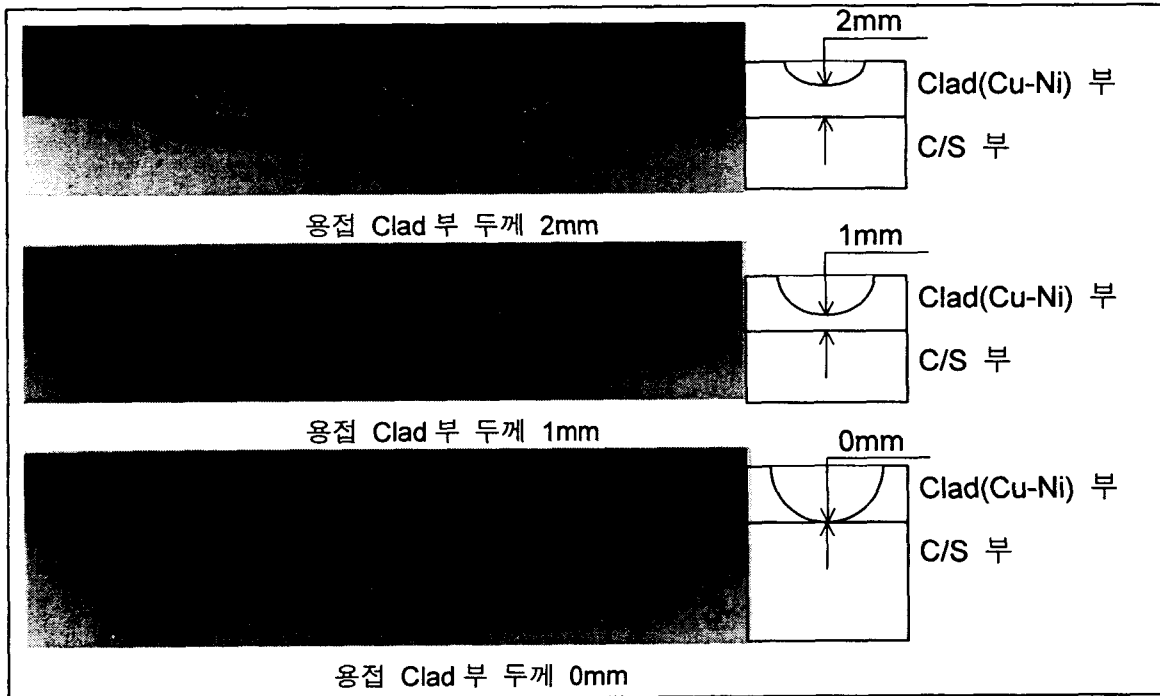


그림 7. Fe Dilution 용접 거시 조직

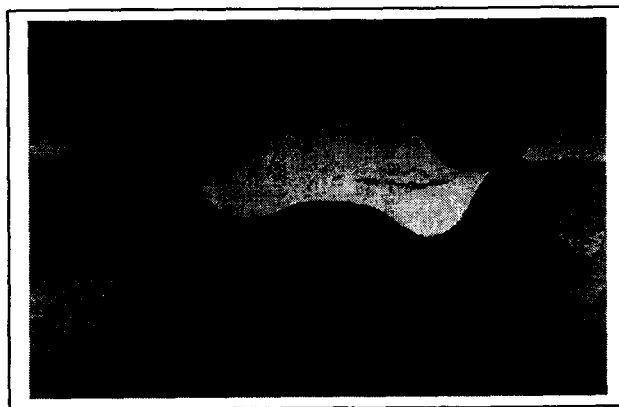


그림 8. Groove plate 용접 거시 조직