

**압력용기용 Mn-Ni-Cr-Mo강의 스테인레스강 Clad부 Disbonding현상에 관한 연구**  
**Study on the Disbonding in Stainless Steel Claded Mn-Ni-Cr-Mo Steel**  
**for Reactor Pressure Vessel**

양 병일\*, 김 정태\*, 김 승원\*\*, 박 화순\*\*\*

\* 한국중공업(주) 기술연구원, 경남 창원

\*\* 한국중공업(주) 제관생산기술부, 경남 창원

\*\*\* 부경대학교 재료공학과, 부산

**1. 서 론**

고온수 분위기에서 사용되는 bolt 체결형 압력용기의 내식성 증대를 위한 스테인레스강 cladding의 경우 대부분 strip 전극봉을 SAW 방법으로 수행하고 있다. 그러나 closure head부의 key홈 등 일부 구간에는 그 구조상 자동 strip cladding이 적용되지 못하고, SMAW에 의해서만 cladding이 가능하다. 이러한 SMAW에 의해 육성용접된 key홈의 clad부에서 disbonding이 자주 발생되고, 특히 이들을 보수용접 한 후 PWHT 경우에 disbonding이 재발되는 사례가 빈번히 나타나고 있다. 이러한 disbonding은 이종 재료의 물리적성질, 용접조건 및 후열처리 조건 등과 구조물의 형상과 밀접한 관련이 있다고 보고되고 있다<sup>1,2)</sup>. 본 연구에서는 SMAW에 의한 clad부의 건전성을 확보하기 위하여 모재와 clad부의 접합강도에 미치는 인자들을 조사하여 그 제반 조건에 따른 결과를 분석하여 disbonding 저항성을 높이는 방안을 조사하였다.

**2. 사용재료 및 시험 방법**

본 압력용기의 head는 Mn-Ni-Cr-Mo 조성의 저합금강이며, 스테인레스 clad 용가재는 초층에 피복아크용접봉인 E309-16(∅4.0mm)을 사용하고, 2층 이후는 E308L-16(∅4.0mm)을 사용한다. Table 1에 는 이들의 화학성분을 나타내고 있다.

Table 1. Chemical compositions for base metal and filler metal (wt.%)

Materials	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Remarks
Mn-Ni-Cr-Mo	max. 0.25	0.15~0.40	1.2~1.5	max. 0.025	max. 0.025	0.40~1.0	max. 0.25	0.45~0.60	max. 0.05	Base Metal
E309-16*	0.035	0.6	1.1			13.0	23.5			1st Layer
E308L-16*	0.02	0.8	0.95			9.5	19.7			2nd layer

\*Typical all-weld metal analysis(%)

본 제품 head의 cladding 시공조건과 PWHT 조건은 Table 2에 나타나 있으며, 용접 방법은 피복아크용접(SMAW)으로 실시되어진다.

Table 2. Welding procedure and PWHT conditions for clad weld metal

Process	Current(A)	Voltage(V)	Speed (mm/min)	Position	Polarity	Preheat(°C)	PWHT
SMAW	120~150	20~32	17~18	flat	DCRP	121	max. 40hrs at 615°C

clad 부의 강도에 미치는 용접 조건과 열처리 조건의 영향을 조사하기 위하여 상기 Table 2의 용접 및 열처리 조건 일부를 변화시켜 이에 따른 전단강도를 측정하였다. 전단강도의 측정은 ASTM A264<sup>3)</sup>에 규정된 clad강 계면의 전단 강도 측정용 시편을 가공하여 실시하였으며, 미세 조직관찰 및 경도 측정을 실시하였다. 또한 석출물의 생성을 확인하기 위하여 일부 시편은 SEM-EDAX 및 EPMA를 이용하여 접합 경계부의 주요 원소들에 대한 분포를 조사하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 Disbonding 현상

Fig. 1은 모재인 head로부터 박리된 스테인레스강 clad의 표면을 나타내고, Table 3은 1개의 head에 대한 key홀 보수 이력을 나타내고 있다. 표에서 볼 수 있는바와 같이 clad 또는 후열처리에 의해 disbonding 현상은 재발되는 것을 볼 수 있다.



Loca. Prs	0°	90°	180°	270°
Clad	수행	수행	수행	수행
UT	Accept	Accept	Accept	Accept
황삭	수행	수행	수행	수행
UT	Disbond	Accept	Accept	Accept
Repair	수행	-	-	-
PWHT	수행	수행	수행	수행
UT	Accept	Accept	Disbond	Disbond
Repair	-	-	수행	수행
황삭	수행	-	수행	수행

Fig. 1 Appearance of the disbonded surface(STS)

Table 3 The history of repair welding

Fig. 2에 나타낸 SEM-EDAX 사진으로부터 본드부 근방에는 PWHT에 의하여 모재로부터의 탄소의 이동이 일어나고 있음을 알 수 있다. 이러한 이동 탄소는 clad 층의 Cr과 반응하여 탄화물을 석출하고, 유지시간이 길어짐에 따라 그 정도가 증가하는 것을 알 수 있었다. 한편 HAZ 및 모재부에서는 탈탄구역이 형성되어 진다.

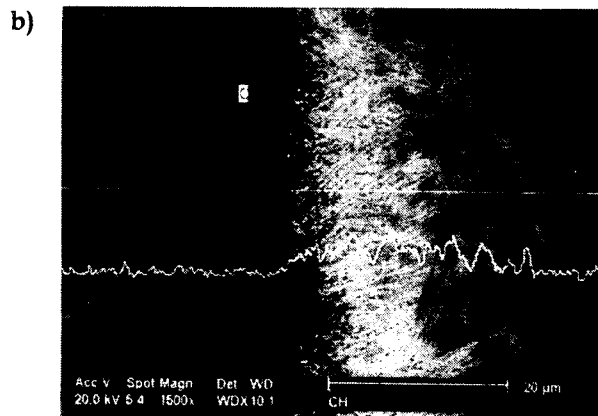
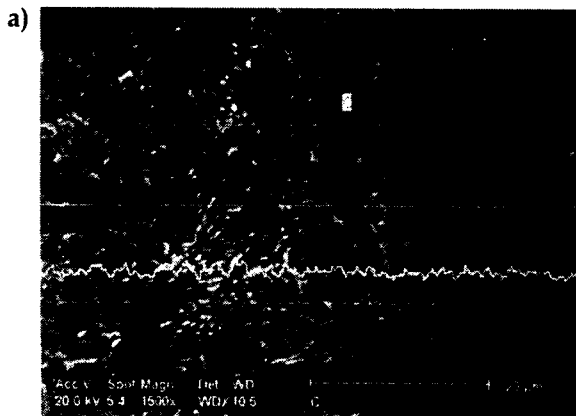


Fig. 2 Difference of carbon peak before a) and after b) PWHT at 615°C for 35hrs..

### 3.2. 시험 결과

Fig. 3에는 입열량에 따른 전단강도의 변화를 나타내고 있다. 용접입열량이 큰 경우에는 후열처리 후 전단 강도의 저하 폭이 커지고 있음을 볼 수 있다. Fig. 4는 후열처리 유지 시간에 따른 전단 강도의 변화를 나타내는 것으로 후열처리 시간이 길어짐에 따라 전단 강도는 현격하게 저하되고 있음을 볼 수 있다. 따라서 스테인레스강 clad부의 접합 전단 강도는 용접 조건 및 후열처리 조건에 따라 많은 영향을 받고 있음을 확인할 수 있었다.

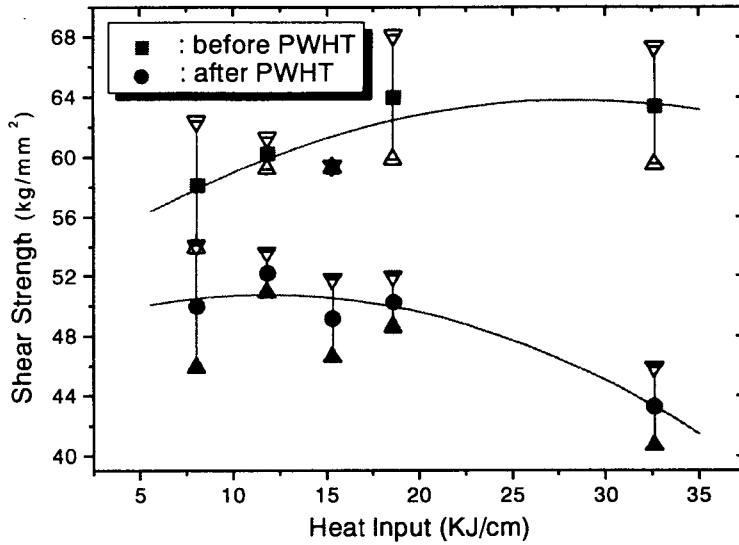


Fig. 3. The variation of interfacial strength with heat input.

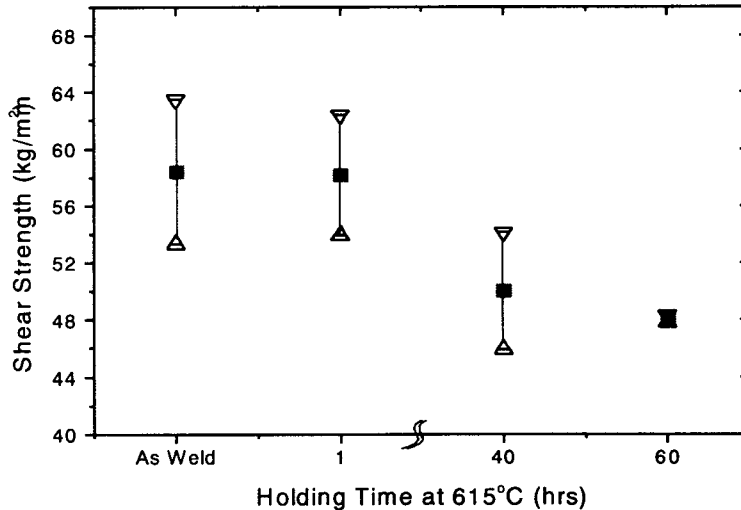


Fig. 4. The variation of interfacial strength with holding time at 615°C.

### 참고문헌

1. Michio Inagaki etc. : 오스테나이트계 스테인레스강 내강 용접 금속의 후열처리에 관한冶金學的考察, 溶接學會誌 40卷 6号(1971), pp 83~92
2. 윤중근, 김희진 : CLAD강의 DEBONDING 현상에 대한 연구(1), (2), 대한용접학회지, 5-3(1987), pp28-37
3. ASTM A264-94a, Stainless Chromium-Nickel Steel-clad Plate, Sheet, and Strip