

## 스테인레스 클래드강의 용접에 대하여

정수원\* · 김회일\* · 박장룡\*

### Welding of Stainless Clad Steel

by

Soo Won Chung\*, Hoe Il Kim\*, Jang Lyong Park\*

#### 1. 스테인레스 클래드강

##### 1.1 제조법에 의한 클래드강의 분류

구조용 재료를 목적으로 강의 한면 또는 양면에 다른 금속을 접합하여 붙인 강재를 클래드강(clad steel)이라 하며 접착된 금속을 클래드재라 한다. 스테인레스 클래드강은 그 제조법에 의해 압연 클래드, 폭착 클래드, 육성 클래드로 구분된다. 제조법의 기본적 지식을 숙지한 후 사용 목적에 부합되는지를 판단하고 선택해야 한다. 최근에는 압연 클래드 대신에 폭착 클래드강이 많이 사용되는 경향이 있다.

##### 1.1.1 압연 클래드강의 제조법

압연 스테인레스 강판과 탄소강 또는 저합금강을 겹쳐서 그 접촉 모서리를 용접하여 교착시킨 후 이것을 재압연하여 양부재를 접합한다.

##### <제조 순서>

압연 클래드강의 제조 순서는 그림 1을 참고하여 설명하면 아래와 같다.

- ① 2장의 스테인레스 강판 사이에 박리재를 끼운다.
- ② 그 양쪽에 탄소 강판을 겹쳐 ③ 모서리를 용접하여 교착시킨다.
- ④ 피접합면을 연마재로 갈아 불필요한 스케일 등을 없앤다.
- ⑤ 연마 후의 표면에 니켈 도금을 하여 탄소 확산을 방지한다.
- ⑥ 압연하고 난 후 모서리를 절단하여 두장의 클래드 강재로 분리시킨다.

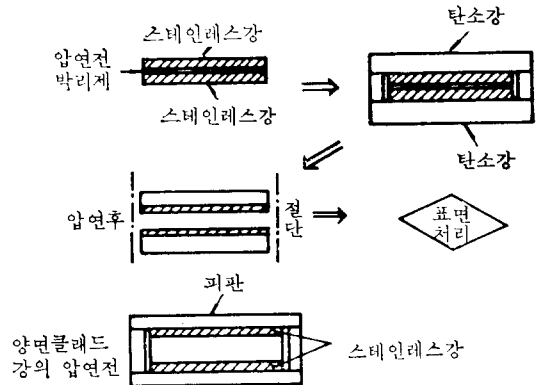


그림 1. 압연 클래드강의 제조

##### 1.1.2 폭착 클래드강의 제조법

화약 폭발 시의 에너지를 이용하여 접합하는 원리이다.

##### <제조 순서>

- ① 탄소 강판 위에 스페이스(spacer)를 끼워 공간을 둔다.
- ② 스테인레스 강판을 그 위에 얹는다.
- ③ 스테인레스 강판 위에 표면 보호제를 놓는다.
- ④ 폭약을 전면에 고르게 쌓는다.
- ⑤ 뇌관을 터뜨린다. (폭발 시의 압력은 약 15만 기압 정도이다)

##### 1.1.3 육성 클래드강의 제조법

탄소강 위에 아아크 용접법으로 전면(표면)을 스테인

\* 현대중공업(주) 용접기술연구소, 정회일

표 1. 스테인레스 클래드강의 종류와 특징

종 류	적 용 범 위	장 점	단 점
압연 클래드강	스테인레스강의 두께 2mm 이상, 모재의 두께 6-15mm	1. 큰판에서도 제조 가능 2. 고온에서 스테인레스강 모재 경계 층에 있어서 탄소의 이동이 적다.	1. 모재 두께가 150mm까지가 한도이다. 2. 작은 판이나 극후판에서는 비경제적이다. 3. 제조 공수가 많고 원가 절감이 곤란.
폭착 클래드강	스테인레스 강 두께 1.4mm 이상, 모재의 두께 6mm 이상에서 스테인레스 판후의 3배 이상의 판후가 좋다.	1. 모재가 후판이어도 제작 가능 2. 접합 강도가 강하기 때문에, 성형가공 등에 잘 견딤. 3. 다른 방법에 비해 원가 절감이 된다. 4. 작은 판에서도 제작 가능.	1. 매우 큰 판은 제작이 불가. 2. 고온에 있어서 경계층으로 탄소의 이동이 많다. 3. 전문 메이카만 제조 가능.
육성 클래드강	스테인레스강의 두께 2mm 이상, 모재의 두께 6mm 이상 200mm-300mm에서도 가능. 현재, 떠상 SAW이 이용되며, 초 후판 압력 용기에 적용되고 있다.	1. 모재 판후나 형상, 크기 대소에 불문하고 클래드 된다. 2. 모재를 성형 및 가공 후 클래드하는 것이 가능하다. 3. 용접 장치를 갖춘 가공 메이카에서 작업이 가능.	1. 용접열에 의해 모재에 변질 및 변형이 생긴다. 2. 용접 그대로는 클래드 표면의 평활도가 나쁘다. 3. 모재 희석에 의해 성분 보증 두께를 갖을 목적으로 타 클래드 재보다 클래드재를 두껍게 해야 한다.

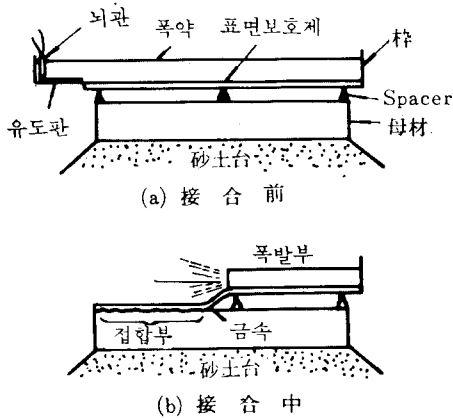


그림 2. 폭착 클래드강 제조

레스강으로 쌓아 올려 육성한다.

<적용시의 조건>

- ① 용착 효율이 높아야 하고, 모재의 용입이 적고 희석율이 낮아야 한다.
- ② 용입이 균일하고 비이드(bead) 표면이 평탄해야 한다.
- ③ 비이드 증부부의 결합이 없어야 하고 작업이 용이해야 한다.

1.2 스테인레스 클래드강의 종류 및 특징

스테인레스 클래드강의 종류와 특징을 제조법에 의하여 분류하면 표 1과 같다.

1.3 스테인레스 클래드재의 용접 재료

클래드재의 종류에 따라 클래드 층의 용접 재료가 선정되어야 하는데 그 용접 재료의 합금 성분이 클래드재와 동등하거나 보다 상위의 용접 재료가 선택되어야 한다.

스테인레스 클래드재의 종류에 따른 용접 재료는 표 2와 같다.

2. 스테인레스 클래드강의 용접 및 절단

2.1 용접 기법

스테인레스 클래드강의 용접 기법은 일반 탄소강 용접에 사용되는 기법이 모두 사용될 수 있다. 곧 수동(SMAW), 반자동(GMAW, FCAW), 자동(SAW), 플라즈마(PAW) 용접 등이 모두 적용된다.

표 2. 스테인레스 클래드재에 따른 용접 재료

스테인레스 클래드재의 종류	클래드재 측의 용접 재료				
	클래드재 측의 1층 용접			클래드재 측의 2층 이후의 용접	
	종 류	메 이 커		종 류	메 이 커
페라이트와 마르텐사이트계	405 410	430 Nb	430 Nb (KOBÉ)	410 Nb	CR-40 Cb (KOBÉ)
	430	446 Nb 430 Nb	CR-43 Cb (KOBÉ)	430 Nb	CR-43 Cb (KOBÉ)
	405 410 430	309 309 Mo 310 310 Mo	S-309 16 N (서한) NC-309 Mo (KOBÉ) NC-30 ( " ) NC-30 Mo ( " )	309 Mo	NC-309 Mo (KOBÉ)
오오스테나이트계	304	309 Mo	NC-39 Mo (KOBÉ)	309 Mo 300	NC-39 Mo (KOBÉ) S-308 16 N (서한)
	304	309 310	S-309 16 N (서한) NC-30 (KOBÉ)	309 Mo	NC-39 Mo (KOBÉ)
	304 L 347 321	309 Mo 347	NC-39 Mo (KOBÉ) NC-37 (KOBÉ)	309 Mo 347	NC-39 Mo (KOBÉ) NC-37 (KOBÉ)
	316 316 L 317	309 Mo	NC-39 Mo (KOBÉ)	316 L 317 L	S-316 L 16 N (서한) NB-317 (KOBÉ)

2.2 용접 전원

교류 용접기나 직류 용접기가 사용될 수 있으며 아아크의 안정성과 모재의 적절한 용입 및 회석을 고려할 때 직류 역극성(DCRP)을 사용하는 것이 좋다.

2.3 용접 재료

클래드재의 종류에 따라 클래드 측의 용접 재료가 선정되며 또한 모재의 종류에 따라 모재 측의 용접 재료가 선정된다. 용접시 제1층에 있어서는 셰플러(Schaffler)도표를 이용하여 모재 회석을 고려한 용접 금속 조성을 검토하고 마르텐사이트를 생성시켜 연성 저하에 의한 균열 발생을 방지시켜야 한다.

2.4 용접부의 청결

산화 스케일 등 기타 이물질(절단시 산화막, 녹, 먼지, 페인트, 스패터 방지제, 기름)의 제거는 필수적이며, 가스 토치에 의한 용접부의 습기 제거도 추천된다.

그라인더(grinder) 및 와이어 브러쉬(wire brush)는 스테인레스 전용의 것을 사용해야 하며, 또한 그라인딩

또는 브러싱할 때는 스테인레스 클래드 쪽에서 연강 모재의 방향으로 실시하여 연강의 찌꺼기가 클래드재 측에 묻지 않도록 해야 한다.

2.5 예열 및 후열

2.5.1 예 열

예열을 할 경우 냉각 속도가 감소되기 때문에 결정립제에서의 탄화물 석출로 인한 입계 부식이 일어날 수 있으므로 오오스테나이트 스테인레스강의 클래드재 용접에는 일반적으로 예열을 하지 않는다. 그러나 구속력이 커서 균열 발생이 우려되는 부재는 그 방지를 위해 예열하여 줄 수 있다. 또한 주위의 온도가 10°C 이하일 경우는 25°C~50°C의 예열이 필요하다.

2.5.2 후 열

클래드강의 용접 후열 처리는 스테인레스강 측의 용접 잔류 응력 제거와 사용성 향상을 위해, 유지 온도 및 시간이 다르게 시행되나, 열처리에 의해 경계부의 침탄 또는 탈탄 등의 취화 현상이 현저한 경우는 용접 후열 처리를 하지 않는다.

2.6 용접봉 관리

용접봉의 흡습으로 인한 용접부의 결함(스패터 과다, 기공 발생, 미세 균열의 발생)을 최대한 줄이기 위해 용접봉은 용접 전에 표 3과 같이 건조시켜 사용하여야 한다.

표 3. 용접봉 건조 조건

품명	건조온도	건조시간
스테인레스강용 용접봉(NC-39 Mo, S-308 16N 등)	150-200°C	30-60분
저수소계 용접봉(S-7016, H등)	300-350°C	30-60분

2.7 클래드강의 절단

2.7.1 기계 절단

12mm 이하의 클래드강의 절단에 쓰여지며 클래드 층을 위로 하고 모재를 밀으로 가도록 하여 모재의 절단 분말이 클래드재에 묻지 않도록 한다.

2.7.2 가스 절단

클래드 층을 기계 가공하여 사전에 제거하고 연강을 가스 절단하여 Fe 혼입을 방지한다.

이 때의 화구경 및 산소압은 일반 연강의 절단시 보다 조금 크고 높게 하며, 절단 속도는 느리게 한다.

2.7.3 플라즈마(Plasma) 절단

클래드재가 두껍거나 고속 절단이 요구되는 경우에 사용한다. 클래드 층부터 절단하며 절단 후 산화철을 제거하여 준다.

2.7.4 기계 절삭

절단면을 깨끗이 가공할 때 사용되며 보수 작업시 클래드 제거에는 엔드밀(end-mill)이 사용된다.

2.7.5 분말 절단(Powder Cutting)

클래드재 비율이 30% 이상의 클래드강에 추천되며, 클래드 층부터 절단한다.

3. 용접 시공

3.1 홈 형상(Joint Preparation)

스테인레스 클래드강 끼리의 용접, 스테인레스 클래드와 스테인레스강 또는 탄소강의 용접, 그리고 스테인레스강과 탄소강과의 용접으로 분류한 홈형상은 표 4에 따른다.

3.2 용접 순서

3.2.1 2개의 스테인레스 클래드강의 용접

아래 그림 3과 같은 방법으로 용접이 진행되며, 특히 모재의 제 1층을 용접할 때는 이면의 스테인레스강을 녹이지 않도록 주의해야 한다.

스테인레스강을 녹일 경우 스테인레스 층의 이면 용접 전에 행하는 그라인딩 작업이 곤란하기 때문이다.

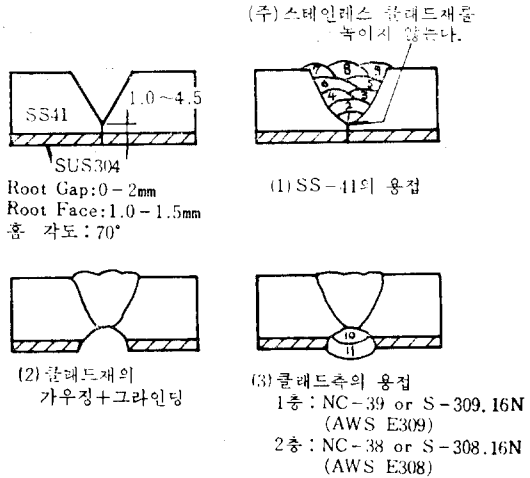


그림 3. 클래드강의 용접 순서

3.2.2 스테인레스 클래드강과 탄소강의 용접

(주) 스테인레스 클래드재를 녹이지 않는다.

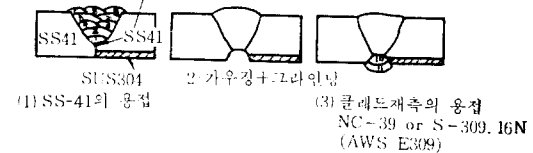


그림 4. 클래드강과 탄소강의 용접 순서

3.2.3 스테인레스 클래드와 스테인레스강의 용접

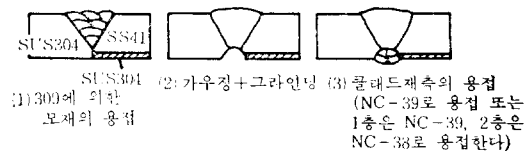


그림 5. 클래드강과 스테인레스강의 용접 순서

표 4. 스테인레스 클래드강의 홈 형상

종 류	판두께 (mm)	홈 형 상		비 고
		외 면*	내 면*	
스테인레스+스테인레스 클래드강	6-20			
	20-32			
	32이상			
스테인레스+스테인레스강 클래드강 또는 탄소강	6-20			클래드재를 홈 가공해야 할 경우는 플라즈마 절단이 필요하다.
	20이상			클래드재를 홈 가공하기 위해서 플라즈마 절단이 필요하다. 외면 홈은 thruster 시공시 적합하다.
스테인레스강+탄소강	-			

\* 주로 외면측 홈이 쓰이며, 부득이한 경우 내면측 홈이 사용될 수도 있다.

3.2.4 스테인레스강과 탄소강의 용접

육성(buttering)할 때와 하지 않는 2가지 방법이 있다.

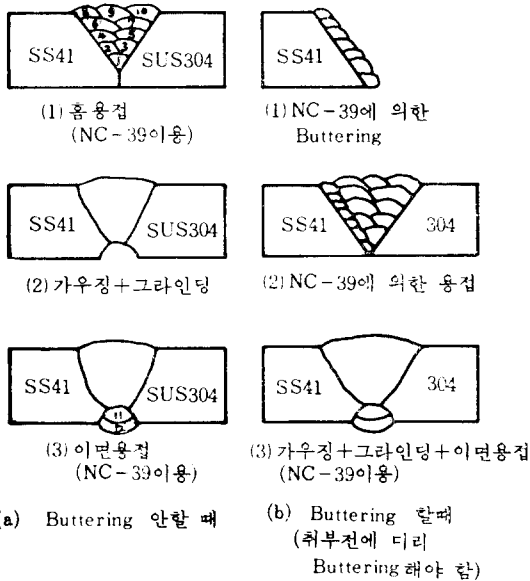


그림 6. 스테인레스강과 탄소강의 용접

3.3 용접 전류

모재 측은 저수소계 용접봉의 사용 요령에 따르며 클래드측의 용접은 스테인레스강 용접봉의 사용 전류를 따른다.

표 5. 피복 용접봉의 적정 전류

용접봉의 종류	자 세	3.2mmφ	4.0mmφ
스테인레스강용	아래보기	70—115A	95—145A
	수직 및 위보기	65—110A	85—135A
저수소계 탄소강용	아래보기	90—130A	130—180A
	수직 및 위보기	80—115A	110—170A

3.4 아아크 길이

가능한 짧게 유지하여 모재와 클래드 간의 회석을 줄여 준다.

3.5 크레이터 처리

크레이터부의 크랙을 방지하기 위해 클래드 측 용접 시에는 백-스텝(back step) 법을 사용하여 정성스레

시공해야 한다.

3.6 슬래그(Slag) 제거

클래드 측의 1층 용접후에는 스테인레스 브러쉬로 슬래그를 철저히 제거하고, 용접부를 청결하게 해야 한다.

3.7 가우징

건진한 금속이 나올 때까지 가우징하고, 홈 내의 표면이 편편할 때까지 정성스럽게 그라인딩 한다. 그라인딩할 때는 연강 부스러기가 클래드에 묻지 않도록 방향을 잘 선택해야 한다.

3.8 용접 자세

클래드 측 용접시 수직 및 위보기 자세에는 가는 용접봉을 사용한다.

3.9 운봉법(Weaving)

클래드 측에는 스테인레스강 용접시의 직선 운봉법이 그대로 추천되며, 운봉시의 폭은 봉경의 2.5배를 넘어서지 않도록 한다.

3.10 아아크 스타트(Arc Start)

아아크 스타트 지점의 노치(notch) 현상으로 인한 스테인레스 강재의 미세 균열(microcrack)이 급성장하므로 클래드재의 아아크 스타트는 금물이다.

3.11 기타(마무리 작업)

용접이 끝난 직후에는 슬래그 및 스파터를 즉시 제거해야 하며, 보강 덧붙임(reinforcement)이 크면 응력 집중 부위가 되기 때문에 보강 덧붙임 높이는 3mm 이하로 조정해야 한다. 이것을 초과할 때는 매끈하게 그라인딩 한다.

4. 스테인레스 클래드강의 용접 시공 예

배의 좌우 방향 전환에 관계되는 스러스터(thruster)의 노즐부에 적용되는 클래드강의 용접에 대해 살펴본다.

스러스터 노즐의 형상은 그림 7과 같으며 이음부는 스테인레스 클래드와 스테인레스강, 탄소강과 스테인레스 클래드의 용접으로 대별된다.

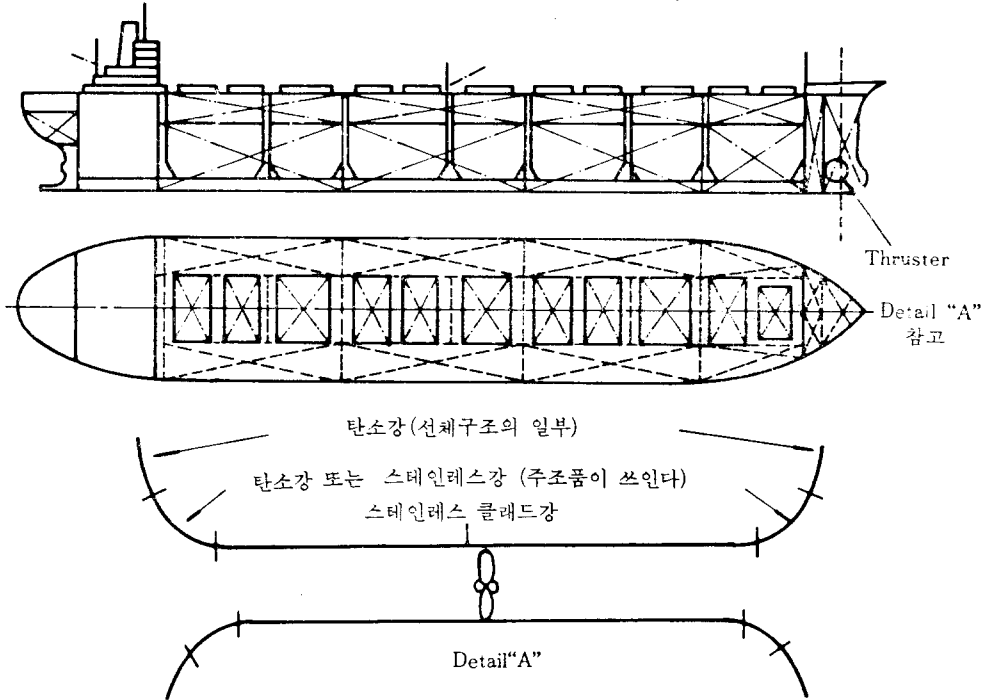


그림 7. Thruster 노즐의 형상

4.1 스테인레스 클래드강과 스테인레스강의 용접

4.1.1 이음부 형상

이음부의 홈 형상은 아래 그림 8과 같다.

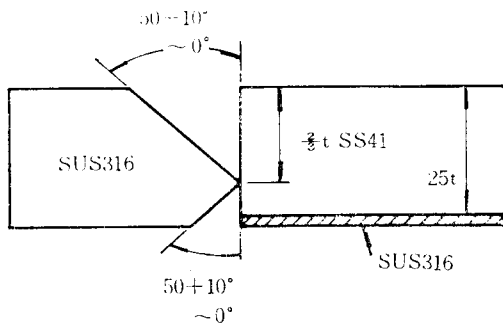
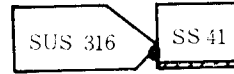


그림 8. 스테인레스 클래드강과 스테인레스강의 용접시 홈 단면도

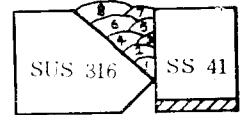
4.1.2 용접 순서

- ① AWS E 309-16 type의 NC-39 봉을 사용해서 클래드재 측에 가접한다.
- ② NC-309Mo 또는 S-309. 16N을 사용하되, 1, 2, 3, 5, 7 비이드는 가늘게 넣는다.
- ③ 건전한 금속이 나올 때까지 가우징하고 매끈하게 그라인딩 한다.

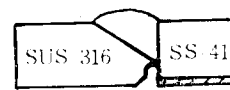
① 취부



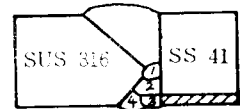
2 모재측의 용접



③ 클래드재측 가우징



4 클래드재측의 용접



5 클래드재측의 표면용접

그림 9. 용접 순서

- ④ 클래드재 측을 NC-39Mo 또는 S-309. 16N을 사용하여 1, 2 비이드를 가늘게 넣는다.
- ⑤ 클래드 재의 표면 용접은 NC-36 또는 S-316. 16N을 사용하여 3, 4 비이드를 넣는다. (단, 클래드재의 스테인레스 재질이 SUS 304이면 1, 2, 3, 4, 5 비이드 모두 NC-39Mo 또는 S-309. 16N을 써도 좋다.)
- ⑥ 마무리 작업  
클래드 재의 비이드 보강 덧붙임 높이가 3mm를 초과할 경우는 그만큼 그라인딩으로 갈아 매끈하

표 6. 용접 작업 표준서

## 용 접 작 업 표 준

### WELDING PROCEDURE SPECIFICATION

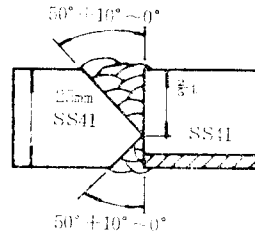
HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES

작업표준번호  
WPS No. WAVE-3

일 자  
DATE MAY. 9. 1983.

용접방법 WELDING PROCESS <u>SMAW</u> 수동, 자동 MANUAL OR MACHINE <u>MANUAL</u> 재 질 NATL SPEC. <u>SS41×SUS CLAD(SS 41×SUS 316)</u> 이음형상 JOINT TYPE <u>SINGLE K G°OOVE</u> 자 세 POSITION <u>ALL POSITION</u> 진행방향 PRCGRESSION <u>N/A</u> 청결방법 CLEANING <u>SEE SPECIAL INSTRUCTION</u> 가우징방법 GOUGING <u>AIR ARC OR GRINDING</u>	기검정여부 PREQUALIFIED PROCEDURE YES <u>YRS No.</u> 플럭스-용접봉 규격 FLUX-ELECTRODE: AWS <u>E309Mo/S7016 E316</u> 용접봉 사양 ELECTRODE <u>NC-39Mo/S-7016H/NC-36</u> 플 락 스 FLUX <u>N/A</u> 가스종류 GAS <u>N/A</u> 유 량 FLOWRATE <u>N/A</u> 예 열 PREHEAT <u>N/A</u> 최대 패스간 온도 MAX. INTERPASS TEMP. <u>MAX177°C</u> 후열처리 POST WELD HEAT TREAT <u>N/A</u>
---	--

PASS No.	TYPE WELD	ELECTR-ODE SIZE	WELDING CURRENT			SPEED RANGE (cm/min)	JOINT DETAIL
			AC-DC	AMPERE	VOLT		
1-9	SMAW (S-7016H)	3.2 mm	F	AC	90-130	23-25	20-37
			V & O	"	80-115	23-24	10-20
		4.0 φmm	F	"	130-180	25-28	20-30
			V & O	"	110-170	24-27	10-20
10-12	SMAW (NC-309 Mo)	3.2 φmm	F	"	70-115	15-18	15-20
			V & O	"	65-110	15-18	10-15
		4.0 φmm	F	"	95-145	18-20	15-20
			V & O	"	85-135	18-20	10-15
13-14	(NC-36)	3.2 φmm	F	"	70-115	24-27	15-20
			V & O	"	65-110	15-18	10-15



특기사항 SPECIAL INSTRUCTIONS:

1. After cover pass welding, stainless steel wire brushing, cleaning with sus-cleaner (passivation) are needed in regular sequence.
2. Before welding back side may be grinded to sound metal by special grinder used for only stainless steel.

승 인 APPROVED BY S. W. CHUNG  
 검 토 CHECKED BY H. I. KIM  
 작 성 PREPARED BY J. L. PARK

AUTHORIZED BY \_\_\_\_\_  
 AUTHORITY \_\_\_\_\_

Q2W-06-A



게 해 준다.

4.2 스테인레스 클래드강과 탄소강의 용접

4.2.1 이음부 형상

이음부의 형상은 아래 그림 10과 같고 용접 조건은 용접 작업 표준서(표 6)에 나타낸다.

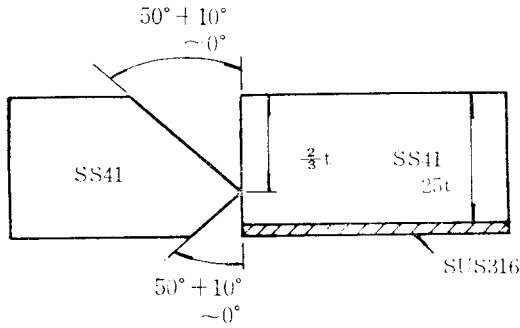


그림 10. 스테인레스 클래드강과 탄소강 용접 시 홈 단면도

4.2.2 용접 순서

- ① AWS E-7016 형의 저수소계 S-7016H 용접봉 (3.2mmφ)을 사용해서 클래드층에 가접한다.
- ② 저수소계 S-7016H 용접봉을 사용하여 1~9 비이드까지 용접한다.
- ③ 건전한 금속이 나올 때까지 가우징하고 매끈하게 그라인딩 해준다.
- ④ NC-39Mo 또는 S-309. 16N을 사용하여 1, 2, 3 비이드를 가늘게 넣는다.
- ⑤ NC-36 또는 S-316. 16N을 사용하여 클래드 층의 표면을 용접한다. (단, 클래드재가 SUS 304일

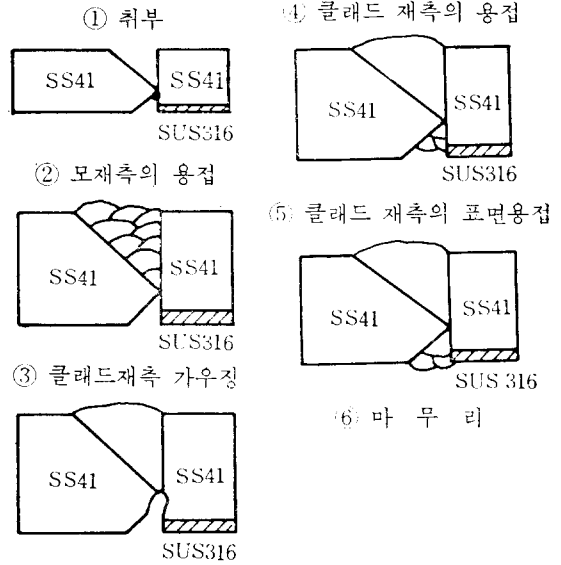


그림 11. 용접 순서

경우에는 1, 2, 3, 4, 5 비이드 모두에 NC-39Mo 또는 S-309. 16N을 사용해도 좋다.)

참 고 문 헌

1. AWS, "Welding Handbook", Vol. 3.
2. ASM, "Metals Handbook", Vol. 6.
3. AWS, "Welding Metallurgy", Vol. 2.
4. J.F. Lancaster, "Metallurgy of Welding"
5. Lincoln Co, "Procedure Book"
6. 神戸製鋼, だより 157,, 1983.
7. 産報出版, 現代溶接技術大系 Vol. 26, 12.

대체구좌 변경안내

1. 우편대체의 송금 일수 단축을 위하여 수불통지 제도를 폐지하고 납입 통지서를 계좌 가입 우체국으로 직접 발송하는 제도가 마련되었습니다.
2. 이번 제도 마련으로 인하여 납입통지서가 3일 이내로 도착 가능하게 되었습니다.
3. 당 학회 우편대체 계좌 번호도 1983년 12월 1일부로 다음과 같이 변경되었습니다.

변경전 계좌 번호 : 5042080

변경 계좌 번호 : 312256-31-5042080