

클래드鋼의 製造方法과 利用技術*

日本 高壓力 技術 協會 클래드鋼위원회

譯 崔 영 국**

The manufacturing of clad steel and its utilization

Hig Pressure Insitute of Japan Clad Committee, Y.G.Choi

1. 서 론

클래드는 복합재료의 일종으로 “어떤 금속을 다 른 금속으로 전면에 걸쳐 피복하고, 또 그 경계면 이 금속조직적으로 접하고 있는 것” 이라고 정의 되어 있으며, 도금과 라이닝은 제외되어 있다. 피 복하는 금속을 클래드재, 피복되는 금속을 모재라 고 부르고, 강재를 모재로 한 클래드를 클래드강 이라고 한다.

클래드는 성질이 다른 금속을 합치는 것에 의해 단일의 금속에서는 얻어지지 않는 새로운 기능이 나 보다 고도의 성능을 발휘시킨 재료이다. 이와 같은 기술은 역사적으로 꽤 오래전부터이며, 예를 들면 일본도는 저탄소강과 고탄소강을 기묘하게 배열해 접합시켜 제조한 것으로, 그 기술의 원형 은 7세기에 확립되었다고 한다. 이 기술은 부엌칼 등의 칼 종류에 많이 활용되어 왔다. 또 18세기 중엽에는 이미 바이메탈의 제조에 이 방법을 이용 한 흔적이 있다.

압연법에 의한 클래드강의 공업제품은 칼로, 19 세기에 미국에서 제조되었다. 1930년대 초기에 니 켈의 원가 절감과 강도를 보충하기위해 INCO社 와 LUKENS社가 니켈 클래드강을 공동으로 공업

화하여 판매하고 있다. 그후 더욱 스테인레스 클 래드강이 개발, 제조되었다. 이들의 클래드강이 ASTM에 규정된 것이 1943년이다.

일본에서는 농기구 등에 내마모강판을 붙여 사 용한 사례는 옛부터 있었지만, 1950년 9월 일본철 강협회의 강연회에서 阿部 등이 “스테인레스강 붙 임판의 연구”를 발표하였고, 그후 본격적으로 연 구되어 공업화된것은 1957년이다.

폭발압접법은 1940년경 고속으로 금속끼리 충돌 할때 접합이 되는 것으로부터 착안한 것으로, 이 것이 클래드의 제조에 응용 가능한 것으로부터 1960년에 미국에서 특허가 나왔다. 일본에서도 거 의 같은 시기에 연구되어 공업화되었다. 주물법에 의한 클래드의 제조는 현재와 거의 같은 방법이 1950년경의 문헌에 보이지만, 접합부가 판의 표면 에 대해 일정하지 않다는 이유로 압연법으로 제조 법이 이행하고 있다. 그후 기술의 진보에 따라 클 래드의 제조법으로서 확립하여 왔다.

확산접합법은 옛부터 연구되어, 각종 이종금속 의 접합법으로서 응용되고 있다. 이 방법을 최근 클래드강의 제조에 적용되도록 되어 왔다. 현재 클래드강의 기능이 평가되어 석유정제, 화학반 응용기, 조선에 있어서 케미컬 탱크, 해수 담수화 장치, Penstock 등, 그 용도에 따른 각종의 클래

* 본 강좌는 본 학회와 일본 고압력 기술 협회가 공동으로 실시하는 기술세미나에서 강의한 내용임.

** 한국해양대학

드강이 개발, 제조되어 그의 용도는 착실하게 증가되어 오고 있다. 일본에 있어서 클래드에 관한 규격 기준은 일본 고압력기술협회 클래드연구위원회에서 원안 작성된 것이 많다. 그것에 대한 것은 4절에서 상세하게 설명하기로 한다.

2. 클래드강의 종류와 특징

클래드강의 특징은 그 사용목적에 따라 다르지만, 일반적으로는 경제성, 내식성, 등을 들 수 있다. 예를 들면, 압력용기에서는 클래드재는 내식성, 모재는 강성과 강도가 요구된다. 특히 고온의 경우 강제의 허용응력은 스테인레스강보다 높기 때문에 클래드강이 유리하다. 용도에 따라서는 SCC특성이나 내공식성 등이 요구되면 스테인레스 Solid 재에서는 문제가 되므로 클래드강이 유리하다. 또한 난방기기 등에서는 열전도성으로부터 생각하여 클래드강이 우수하다. Table 1에 이러한 관점으로부터 본 클래드강의 기능재료로서의 우위

성을 나타냈다. 다음에 클래드재의 종류에 대해서 간단히 설명해 본다.

스테인레스 클래드강 : 클래드재로서 JIS Z3601에는 오스테나이트계, 오스테나이트계·페라이트계, 페라이트계 스테인레스강이 규정되어 있다. 용도는 대부분 각종 저장조와 압력용기로서 선박, 도장이 불필요한 수문 등에 사용된다.

니켈·니켈합금 클래드강 : 순 Ni, Ni-Cu합금 (Monel), Ni-Cr-Fe합금, Ni-Mo합금, Ni-Mo-Cr합금 등이 많다.

그러나 제조법에 의해서는 더욱 광범위한 니켈합금이 클래드재로서 사용된다.

동·동합금 클래드강 : 순동, 황동, Naval 황동, 특수 알루미늄 청동, 백동이 클래드재로서 사용되고 있다. 육성 클래드강에서는 황동, Naval 황동은 사용되고 있지 않다. 용도는 해수담수화 장치에 사용되는 쿠플로 니켈 클래드강이 많다.

티탄 클래드강 : 순티탄(CP Ti)이 클래드재로 이용되고 있다. 티탄은 매우 우수한 내식성을 갖고 있지만, 고가이기 때문에 티탄 클래드는 경제적으로도 유리한 재료이다. 종래 폭발압접법으로만 제조가 가능했지만, 최근 순철계의 인서트재를 이용해 압연 클래드강도 제조되고 있다.

그외의 금속으로서는 알루미늄이 비교적 많다. 압연법이나 폭발압접법에서 은, 금 등의 귀금속이나 Nb, Ta 등의 내화금속을 클래드재로서 이용한 클래드도 제조되고 있다.

3. 클래드강의 제조방법

대표적인 방법에 의해 제조된 클래드강을 들면 다음과 같다.

- ① 압연 클래드강 : 압연법에 의해 제조된 클래드강
- ② 폭접 클래드강 : 폭발압접법에 의해서 제조된 클래드강
- ③ 확산 클래드강 : 확산접합법에 의해 제조된 클래드강
- ④ 육성 클래드강 : 용접 육성법에 의해 제조된 클래드강
- ⑤ 폭접압연 클래드강 : 폭발압접한 후 압연하여 제조된 클래드강
- ⑥ 확산 압연 클래드강 : 확산접합시킨 후 압연하여 제조된 클래드강

Table 1 클래드강의 기능재료로서의 우위성

열전도성 열전도성 열전도성	스테인레스 Solid 보다 우수한 기능		시 공 성									
	허용응력이 높다	SCC의 위험 차음	공식관통 적다	外面電 蝕이 없다	熱變 形이 적다	가스 질단 용이	軟鋼 熔接 材 料 부 분 사 용	大 板 製 造 可	外 面 의 熔 接 에 軟 鋼 採 用 可	外 面 塗 裝 性 良 好	檢 査 (U S T)	
주	壓力容器	○	○	○			○	○	○		○	○
	밸브다이 제터		○	○	○			○	○	○		
	믹서 자켓 불이 반 응 탑	○	○	○	○	○	○	○	○		○	
용	일반 탱크			○	○		○					
	캐미컬 탱크		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	담수화 장치			○	○		○	○	○	○	○	○
도	수문 펜스 록 (방류 관)	○				○	○	○	○	○		
	석탄 호퍼 저장 조 의 료 기 기 난 방 기 기 라 인 파 이프	○		○	○		○		○	○	○	
			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

- ⑦ 육성 압연 클래드강 : 육성한 후 압연하여 제조된 클래드강
- ⑧ 주조 압연 클래드강 : 주조에 의해 클래드재와 모재를 조합시킨 후 압연하여 제조된 클래드강

여기에서 ⑤—⑧의 방법은 각각의 방법에 의해 클래드를 제조한 후 열간 압연을 행한 클래드강이기 때문에 JIS에서는 특성상 압연 클래드강으로서 취급되고 있다.

다음에 이들의 제조방법을 간략히 설명하기로 한다.

3.1. 압연법

스테인레스 강판 등의 클래드재와 강재를 Overlap 시켜서 주위를 용접하고, 이것을 열간 압연하여 클래드재와 모재를 접합하는 방법이다. Fig.1에 나타낸 바와 같이, 일반적으로 2매의 스테인레스강(클래드재)의 사이에 박리재를 놓고, 그 양측에 탄소강 혹은 합금강을 겹쳐 그 주위를 용접하는 방법이다. 스테인레스강과 탄소강의 접합면은 연마에 의해 녹 등을 제거하지만, 접합성의 향상과 계면을 통한 탄소의 이동을 방지하기 위해 클래드재의 접합표면에는 니켈 도금을 실시한다. 또 접합성의 향상을 위해 용접에 의해 밀봉된 내부는 감압된다.

접합은 고상에서 행해지기 때문에 온도, 압력, 압연비 등이 접합성에 크게 영향을 미치지만, 동시에 모재 및 클래드재의 성질도 문제가 된다. 최근은 가공열처리 기술을 적용하여 제조된 것도 있다. 클래드재로서 스테인레스강, 동합금, 니켈합금이 많지만, 최근에는 티탄 클래드강도 제조되고 있다. 이 방법의 특징은 폭이 넓고, 길이가 긴 것의 제조가 가능하다.

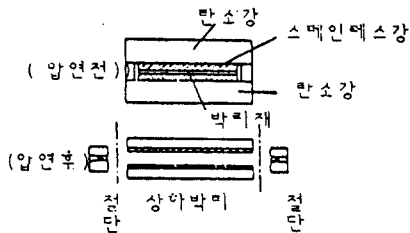


Fig.1 압연 클래드강의 제조방법

3.2. 폭발압접법

폭약이 폭발할때에 발생하는 고압력을 이용하여 접합하는 방법이다. Fig.2에 나타낸 바와 같이 모재의 위에 클래드재를 어떤 공간을 두고 설치하여 클래드재의 위에 폭약을 놓아 그 폭약의 일단을 기폭하면 폭발이 진행되고 그 압력에 의해 클래드재가 가속되어 모재에 충돌한다. 이때 클래드재가 모재에 어떤 각도로 충돌하면, 접합부의 전방에 금속젯트가 발생하고 그것에 의해 청정표면이 나타나 충돌의 압력에 의해 고상접합한다. 접합계면에는 특유의 파상모양이 생긴다. 이 방법은 가열하면 취성 화합물이 접합부에 생기는, 재료조합, 예를들면, 티탄클래드강 등의 제조에 특히 적용되고 있다. 또 알루미늄 클래드강과 같이 경도과 용점이 극단적으로 다른 조합에도 적합하다. 현재 대개의 금속조합의 클래드의 제조에 사용되고 있다. 매우 두꺼운 모재가 사용되지만, 폭약량의 관계로 면적에 제한이 있다.

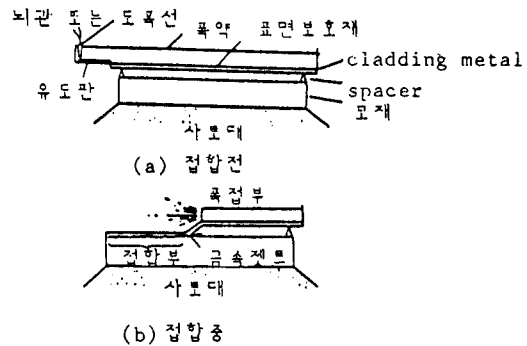


Fig.2 폭접 클래드강의 제조법

3.3. 용접 육성법

육성의 방법으로서서는 모재의 희석이 적고, 육성표면이 깨끗한 것, 또 용착능율이 높은 것이 요구된다. 이들의 조건을 만족시키는 용접방법으로서는 대상적극 서브머지드 아크 육성용접법(밴드 아크 용접법)과 대상전극 일렉트로 슬래그 육성용접법이 있다.

밴드 아크 용접법은 0.4×(25-150)mm의 단면을 갖는 스테인레스강 후프상 전극을 서브머지드 아크 용접하는 방법이다. 1패스로 꽤 넓은 비이드 폭이 얻어져, 매우 평탄한 육성표면이 얻어진다. 또, 통상의 아크 용접에 비해 모재의 희석율은 15

% 이하로 용입이 작다.

대상전극 일렉트로 슬래그 용접은 밴드 아크법과 달리 아크를 발생하지 않고, 용융 슬래그의 저항열로서 용접을 행하는 방법으로, 모재의 용입율이 5-10%로 적다. 이 때문에 성분 조절도 용이하여 정정도도 높다. 또, 대상전극을 병렬로 하여 고능율화도 배하고 있다. 이 방법에 종자장을 이용한 육성용접법도 있고, 언더 컷의 방지와 비이드 중첩부의 평활화를 꾀한 방법으로 Fig. 3에 그 동작 원리를 나타낸다. 또 역극성 소프트 프라즈마 아크 용접은 매우 용입율이 작은(0.1%정도) 육성용접방법으로, 매우 얇은 두께로, 작은 부분의 육성에 적합하다.

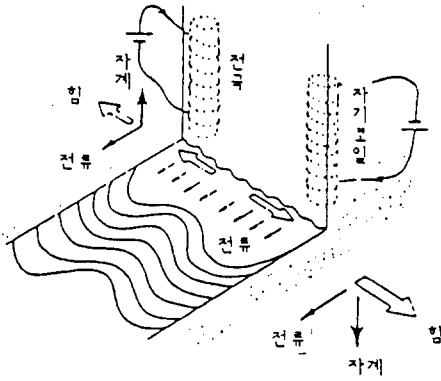


Fig.3 자장을 이용한 일렉트로 슬래그 용접법

3.4. 확산 접합법

이 방법은 모재와 클래드재를 밀착시켜 모재 및 클래드재의 용점이하의 온도조건에서 소성변형을 가능한 한 생기지 않을 정도로 가압하여 접합면에 생기는 원자의 확산을 이용하여 접합하는 방법으로, 일반적으로 접합 분위기로서는 피접합재의 산화방지를 위해 진공, 또는 불활성 가스중에서 행한다. 이 방법은 고온으로하여 접합하기 때문에 금속조합에 따라서는 접합이 곤란한 것도 있지만 인서트재를 연구하면 꽤 좋은 조합의 클래드가 제조 가능하다. 압연하지 않으므로 치수정도와 원료의 낭비가 없는 등의 잇점이 있다.

3.5. 주조 압연법

Fig. 4에 나타낸 바와 같이, 클래드재가 되는 심재를 주형 내에 설치하고 모재가 되는 용강을 주입하여 슬라브를 만들어 열간에서 압연한다. 클

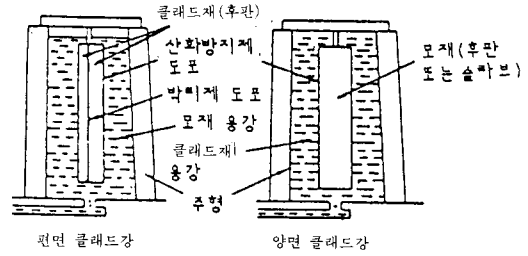


Fig.4 주조압연법의 주조상태

래드재로서 연강, 모재에 고장력강을 이용한 클래드가 제조되고 있다. 스테인레스강도 이용되고 있지만, 용강에 의해 심재를 용융시키지 않기 위해서는 심재가 어떤 두께(약 10%)이상 필요로 한다. 또 강의 용점보다 낮은 재료는 클래드재로 사용할 수 없다.

3.6. 그외의 방법

이상에 열거한 방법 이외에 용사법, 프라즈마 아크법 등도 있다. 이들의 방법은 시공능율은 낮지만, 세라믹 등의 비금속이나 극단으로 고경도내마모재료 등을 클래드재로서 사용 가능하다.

또 Ni-Cr-B 이나 Ni-P 등의 니켈 경납을 이용한 액상확산접합법(확산 브레이징법)에 의해 파이프 클래드 등의 제조가 최근 행해지고 있다.

4. 클래드강의 가공 및 이음 시공법

4.1. 클래드강의 가공 기준

클래드강의 모재를 강재로 한 클래드강으로 클래드재와 모재와의 조합, 제조방법, 용도(1종과 2종), 접합상태(등급 F와 S)등에 의해 분류된다. 또 통상 전체 두께 8mm미만의 클래드강을 박판 클래드강이라고 부른다. 클래드 관계규격의 체계화와 제정의 현상을 Fig. 5에 나타낸다. 현재 JIS로 제정되어, 그 후 개정된 클래드강에 JIS G3601-1988 스테인레스 클래드강, JIS G3602-1986 니켈 및 니켈합금 클래드강, JIS G3603-1986 티탄 클래드강, JIS G3604-1986 동 및 동합금 클래드강이 있고, 또 이것들과는 별도로 HPIS B111-1986 박판 스테인레스 클래드강이 제정되어 있다. 한편, 공통적인 일반규격으로서 JIS G0601-1988 클래드강의 시험방법 및 HPIS A101-

공 통 사 항	JIS G 0601 - 1988(改) 클래드강의 시험방법	HPIS A 101 - 1987(改) 클래드 관계 용어
클래드재와 모재의 조합, 제조 방법 및 용도 구분 1종과 2종	각종 클래드강의 용접시공방법의 확인시험방법(未)	각종 클래드강의 가공기준
JIS G 3601 - 1986(改) 스테인레스 클래드강	JIS Z 3043 - 1985 스테인레스 클래드강의 용접시공방법의 확인시험방법(未)	HPIS E 105 - 1980 스테인레스 클래드강의 가공기준 (JIS B 8250 부속서6)
JIS G 3602 - 1986(改) 니켈 및 니켈 합금 클래드강	니켈 및 니켈합금 클래드강의 용접시공방법(未)	HPIS E 115 - 1984 니켈 및 니켈합금 클래드강의 가공기준
JIS G 3603 - 1986(改) 티탄 클래드강	WES 7602-1986 : HPIS E 117-1986 티탄 클래드강의 불활성 가스 아크 용접 및 티탄 라이닝 작업기준	HPIS E 116 - 1984 티탄 클래드강의 가공기준
JIS G 3604 - 1986(改) 동 및 동합금 클래드강	HPIS E 115 - 1984 동 및 동합금 클래드강의 용접시공방법(未)	HPIS E 116 - 1982 동 및 동합금 클래드강의 가공기준
HPIS B 111 - 1982 박판 스테인레스 클래드강	박판 스테인레스 클래드강 용접시공방법의 확인시험방법(未)	박판 스테인레스 클래드강의 가공기준 (未)

Fig.5 클래드 관계 규격의 체계화와 제정의 현상

1987 클래드 관계 용어가 제정되어 있다. 또 이들의 클래드강의 가공기준이 HPIS 로서, 더욱이 클래드강 이음의 용접시공방법의 확인시험방법이 JIS 또는 HPIS 로서 제정되어, 그 후 일부개정이 행하여져 있다.

HPIS E105-1980 스테인레스 클래드강 가공기준에 있어서는 JIS G3601 스테인레스 클래드강 즉 통상의 오스테나이트계, 오스테나이트·페라이트 2상계 및 페라이트계의 스테인레스강을 클래드재로 하는 전두께 8mm 이상의 편면 클래드강을 주로 대상으로 하고, 마르텐사이트계 및 석출경화계 스테인레스 클래드강의 적용은 제외했다. 그리고, 절단, 성형가공, 이음용접, 표면처리, 시험 및 검사 기술수준을 정하고 있다. 또 JIS G3601-1983 압력용기의 구조특정규격 부속서 6에 이 HPIS E105을 채용하고 있다. 또한 스테인레스 클래드강의 이음용접을 행함에 있어서, 먼저 그 용접시공방법의 적부를 확인하는 경우는 별도 규정의 JIS G3601-1985 스테인레스 클래드강 용

접시공방법의 확인시험방법에 의해 행한다. HPIS E115-1984 니켈 및 니켈합금 클래드강 가공기준 및 HPIS E113-1982 동 및 동합금 클래드강 가공기준은 상기 HPIS E105-1980 스테인레스 클래드강 가공기준과 거의 같이 절단, 성형가공, (이음의)용접, 표면처리, 시험 및 검사로 했지만, 적용재료에 대해서는 각각 JIS G3602 니켈 및 니켈합금 클래드강의 적용재료에 준하고, 용접재료에의 적용은 가공성과 용접성을 고려해 지정하였다.

HPIS E116-1984 티탄 클래드강 가공기준에서는 티탄이 산소나 질소등과 화학적 친화력이 크기 때문에 대기중에서 가열하면 표면이 오염되어 표면근방의 티탄에 산소나 질소가 고용하고 현저하게 경화한다. 더구나 티탄과 강은 고온에서 용융 혹은 고상화산을 일으키면 취약한 금속간화합물이 형성되기 때문에 용융용접이 불가능하다. 따라서 가공이나 이음시공에 특별한 주의를 요하고, 티탄 판과 모재의 강재가 직접 아크에 접촉하지 않도록 한다. 이 가공기준에 적용되는 클래드강의 클래드재는 JIS G3603 티탄 클래드강에 준하고, JIS H4600 티탄판 및 기타의 중 TP28 및 TP35로 하여 TP49를 제외했다. 그러나 이 외에 Pd 또는 Ta가 들어간 티탄판의 강도가 TP28 및 TP35 상당의 것도 적용 가능하다고 한다. 한편 일본용접협회에서는 해당 클래드 연구위원회와 연계를 취해 양 협회의 공동규격으로서 WES7602-1986 : HPIS E117-1986 티탄 클래드강의 불활성 가스 아크용접 및 티탄 라이닝 작업포준을 제정했다.

4.2. 클래드강 이음의 시공법

일반적인 용접구조물의 용접시공법 확인시험방법은 JIS Z3040-1988에 개선용접이음 및 필렛용접 이음에 대하여 규정하고, 보일러, 압력용기 등에 이용되는 이중재의 필렛용접, 관과관과의 용접 등의 시공방법의 확인시험방법에 대해서는 상기 JIS Z3040의 부속서2 특수형상의 확인시험방법에 규정되어 있다. 또 JIS Z3043-1985 스테인레스 클래드강 용접시공방법의 확인시험방법 및 HPIS E114-1983 동 및 동합금 클래드강 용접시공방법의 확인시험방법 이 있고, 각각 JIS G3601 스테인레스 클래드강 및 JIS G3604동 및 동합금 클래드강의 맞대기용접이음에 대해서 규정되어 있다. 한편, 국내외의 관련법령, 규격, 기술기준 등의

가운데 각종 용접구조물이나 제품의 용접시공방법의 확인시험방법이 정해지고 있고, 국내의 법령, 규격, 기술기준 등은 ASME Sec. IX Welding and Brazing Qualification, Article II Welding Procedure Qualifications을 기초로 하고 있기 때문에 내용이 서로 유사하다. ISO/TC44/SC10, BS4870, DIN8563 등은 서양계의 규격 기준이고, 국제규격 ISO에 통일사용이라는 움직임 속에서 품질보정이나 용접품질 및 시공법에 관한 각종의 제안이 근년 활발하게 나오고 있다.

이 때문에 국내외의 규격·기준의 적합성과 법규제의 운용에 있어서의 상호용인의 검토가 필요하다. 클래드강 이음의 용접시공에 있어서는, 기본적으로 용접재료의 선택, 용접이음의 형상과 개선가공, 시공요령에 기초한, 시공법의 확인, 용접작업자의 선정과 훈련, 시공순서, 클래드재와 모재의 접합경계층 부근의 용입상태와 결합평가, 용접후열처리의 여부, 이음성능의 확인 등이 중요하다.

스테인레스 클래드강의 경우, 페라이트계의 클래드재는 SUS 405계(13Cr-A1)가 일반적이고, 마르텐사이트계의 클래드재는 SUS410계가 사용되고, 오스테나이트계의 클래드재는 용도에 따라서 다종다양하며, 오스테나이트·페라이트 2상계도 SUS329 계 등이 해수나 천연가스 등에 의한 내공식과 SCC 용에 사용되도록 되어 왔다. 이음의 클래드재층 용접재료의 선택으로서는 모재의 용입에 의한 성분희석을 고려하여 초층 용접에서는 클래드재보다도 1단계 높은 용접재료를 이용하는 것이 기본으로 되어 있다. 2층 이상은 공급계를 사용하는 것이 일반적이다.

니켈 및 니켈합금 클래드강 이음의 용접시공에서는 스테인레스 클래드강의 그것에 비해 모재인 강재와의 희석에 대하여 조직의 안정도가 높고, 마르텐사이트가 생성되기 어렵기 때문에 일반적으로는 오스테나이트계의 스테인레스 클래드강의 용접시공과 기본적으로 같은 관리가 좋다.

동 및 동합금 클래드강 이음의 용접시공에서는 클래드재층의 용접금속은 본래 철의 혼입을 방지하기 위하여 초층용접에서는 90/10큐플로 니켈 또는 알루미늄청동을 이용해, 용입이 적은 용접을 행함과 동시에 적층수를 많이하고, 최종층에 있어서의 성분희석을 최소한으로 하는 연구가 필요하다.

티탄 클래드강 이음의 용접에서는 티탄과 철은 고용도를 거의 갖지 않고, 티탄을 강재상에 직접 용접한 경우, 취약한 용접금속으로 되어 실질상 사용할 수 없다. 그래서 실시공에서는 이음 개선부 클래드재층에 티탄의 락상 불임판을 붙여 티탄 쌍방을 용접하는 이음방식을 채택하고 있다. 단지 그의 용접열에 의해 클래드강의 클래드재와 모재의 접합상태가 나쁘게 되지 않도록 주의할 필요가 있다.

4.3. 클래드강의 가공 및 이음시공상의 과제

압력용기의 경관 등의 성형가공에는 냉간 또는 열간프레스가공 또는 스피닝가공이 이용되고, 이 때문에 각종 용도별로, JIS G3601-3604에 규정하는 각종의 클래드강의 1종이 생각된다.

그러나 이들 클래드강 규격의 개정을 위한 심의 과정에서 현재의 1종보다 더욱 엄한 접합상태 등을 규정한 특1종(가칭)의 신설에 대해 검토했지만, 현시점에서 그의 요구 수준과 시험방법이 반드시 명확하지 않으므로, 금후의 검토과제로 되었다. 또 클래드강 2종은 모재만을 강도보정으로 하고, 라이닝을 대신하여 사용하는 것이므로, 이 2종의 접합상태를 원만하게 하는 것에 대해서도 검토가 되었지만, 이것도 금후의 과제로 했다.

클래드강은 단일의 소재에 없는 뛰어난 기능성과 경제성을 갖고 있지만, 클래드강의 단면이 사용환경과 접하는 경우에는 진위차 부식과 터널 부식 등의 문제가 생기는 것이 있어 단면을 클래드재와 동일한 재료로 육성용접하는 등의 대책이 필요하다. 또 클래드강의 가공 및 이음 시공법에는 전술과 같은 클래드강의 클래드재와 모재와의 접합경계 부근의 재질변화를 고려한 가공법 및 이음 용접시공법 등을 검토하지 않으면 안된다. 더구나 클래드강 및 이음의 품질에 대해서도 클래드재와 모재 및 그의 접합경계 부근이나 이음의 장소에 의한 재질의 상이에 따른 성능이 변화하여, 그 품질보증에 대해 특별한 주의를 할 필요가 있다.

육성 클래드강은 JIS G3601-3604의 각종 클래드강에 포함되어 있지만, 다른 제조법에 의한 클래드강과 달리 강재라기보다는, 압력용기나 배관 등의 구조물의 제작과정에 포함되는 일종의 용접시공법이다. 또 육성법에는 용접 육성법 이외에 용사 육성법도 생각되고, 클래드재로는 세라믹 등

의 비금속재료도 포함되어, 내식성 외에 내마모성이나 내열성 등의 성능에도 대응할 수 있다. 용접육성법에서는 클래드재와 모재를 용융용접에 의해 접합하기 때문에 접합 경계의 희석과 화합물의 형성 등에 의한 재료의 열화가 문제가 되어, 용접균열, 언더 클래드 균열, 수소손상, 박리현상 등에 대한 방지대책이 검토되고 있다.

근년, 클래드강관의 제조방법 및 수요가 주목되어, 제조방법으로는 용접 클래드강관, 시임레스 클래드강관, 육성 클래드강관, 국부 환상가열수냉법에 의한 이중강관 등이 개발되고, 분체나 유체의 내식, 내마모용 관 등의 개발이 고려되어 이들 강관의 배관을 위한 현지 용접시공법 등의 과제가 있다.

강관 내면의 클래드재료는 각종 스테인레스강, 니켈합금, 동합금, 고탄소강, 고크롬주철, 알루미늄 나세라믹 등이 사용되고, 현지 배관의 용접시공은 되면으로부터의 편면용접이 행해져 그의 용접재료의 선택과 시공법이 과제이다.

한편, 박판 스테인레스 클래드강의 가공기준 및 용접 시공법의 확인시험방법에 대해서는 아직 규정하고 있지 않지만, 예를 들면, 스테인레스협회 제정의 SUS852-1983 스테인레스재 수조의 설계·시공·유지·관리지침의 중에 박판 스테인레스강재 수조의 공작방법이 규정되어 있다.

5. 클래드강의 용도

5.1. 클래드강의 종류와 용도

클래드강은 석유정제, 석유화학플랜트를 비롯하여, 선박, 도목, 에너지, 농업 등 각 산업의 폭넓은 분야에 사용되고 있을 뿐만 아니라, 전자부품, 난방용품, 장식용 등의 제품에도 많이 사용되고 있고, 매우 전망이 넓은 재료로 되고 있다.

1988년 8월 통산성에서 정한 금후의 신소재 Fine Steel 중에서 클래드는 금속계 복합재료의 하나로서 채택되어져 있고, 그 용도예를 Fig.6-8에 각각 후판, 박판, 강관의 종류별로 나타냈다. 종래 클래드강이라고 하면 후판이 주였지만, 박판이나 강관 분야도 착실하게 용도를 넓혀가고 있다.

Table 2는 클래드재의 종류와 그것에 대응하는 주된 용도 예를 나타낸다. 고탄소강이나 알루미늄의 경우는 각각 내마모성이나 전기전도성 때문에 이용되고 있다. 이상과 같은 클래드강의 종류 및 용도는 다종다양하다.

클래드강의 이용분야의 분류를 Fig.9에 나타내지만, 이것은 압연 후판클래드강의 이용에 대해 정리한 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 현상은 스테인레스 클래드강이 압도적으로 많고, 또 압력

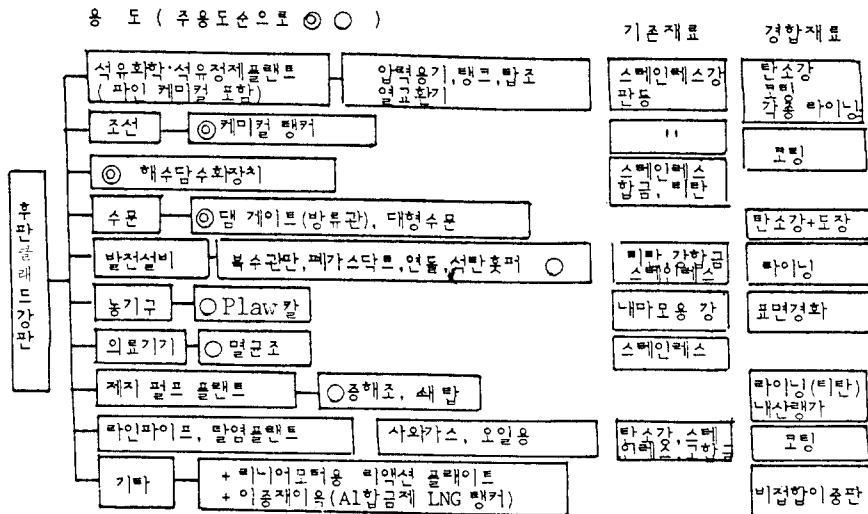


Fig.6 후판 클래드강의 용도 예

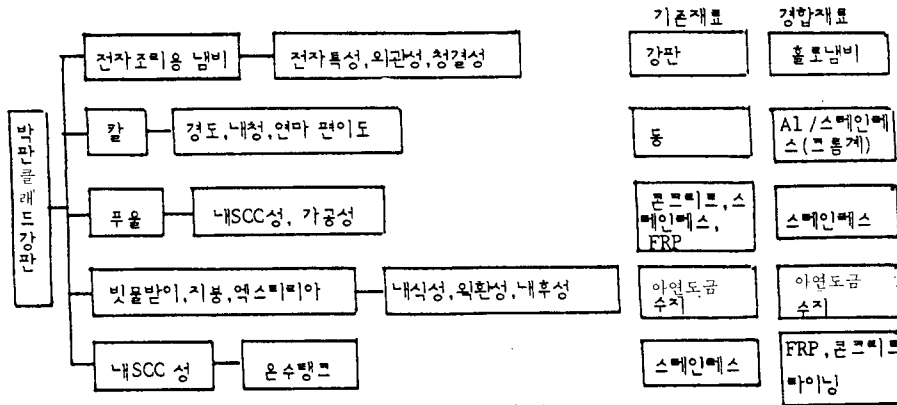


Fig.7 박판 클래드강의 용도 예

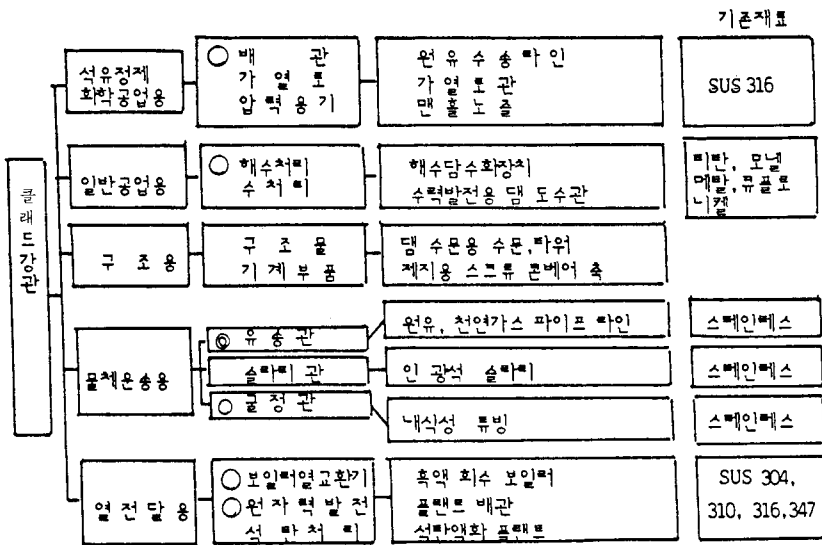


Fig.8 클래드강관의 용도 예

Table 2 클래드 강의 종류와 용도

종류	용도 예
스테인레스 클래드강	석유정제, 화학플랜트용 압력용기, 케미컬 탱크, 수문, 해수담수화장치, 탱크, 파이프소재
동 및 동합금	해수담수화장치, 열교환기
니켈 및 니켈합금	소다전해공업, 사와가스정제기, 제염업
티탄	유기산반응용기, 복수기, 제지표백업
고탄소강	동기구, 칼
알루미늄	이중제이음, 리니어 모터
기타	스테인레스+비철 박판 클래드강 전자재료, 장식용

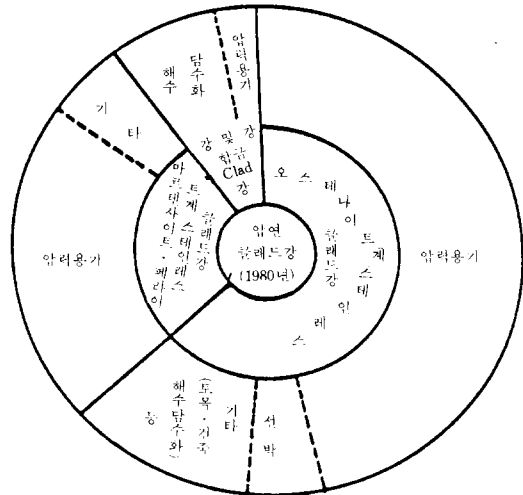


Fig.9 클래드강의 이용분야별 분류 (압연 클래드강의 예)

용기 용도의 점유비율이 높다. 최근의 경향으로서는 선박(케미컬 탱커)의 탱크용과 토목(댐 게이트)을 중심으로 하는 수문용의 증가가 현저하다.

Fig. 10에 스테인레스 클래드강의 일본에 있어서의 생산량의 추이를 나타낸다. 생산량은 착실하게 증가하는 경향을 보고 있는 것으로, 그 시대의 경제정세를 반영하기 때문에, 꽤 변동을 보이고 있다. 1975년 초의 peak는 석유정제, 석유화학플랜트 수요의 활발기로, 또 제2의 peak는 해수담수화장치 붐의 시기이며, 더욱이 제3의 peak는 케미컬 탱커 수요 활발기로 각각 대응하고 있다.

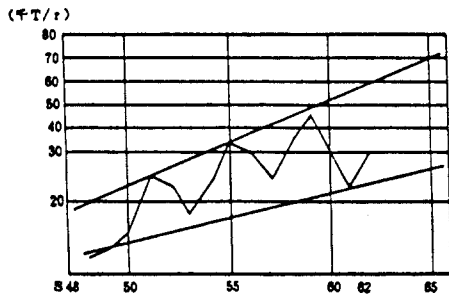


Fig.10 압연스테인레스 클래드강판 생산량 추이

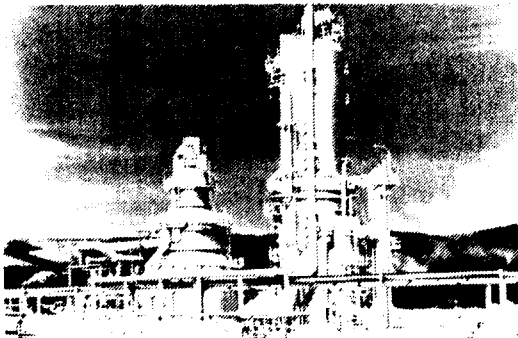


Photo.1 석유정제플랜트 진공타워(스테인레스클래드강)

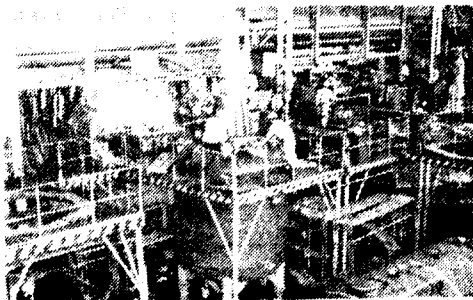


Photo.2 석유화학플랜트-중합용 리액터-(스테인레스 클래드강)

이러한 클래드강의 수요량은 경제환경의 변화를 받으면서 순조롭게 증가하여 왔지만, Fig. 11에 나타낸 바와 같이 수요가의 요구가 Maintenance Free화와 환경의 가혹화에 따라서 한층 엄하게 되어, 단일의 소재에서는 만족할 수 없는 분야의 복합재료로서 더욱더 중요성을 증가시키는 것으로 생각되어 용도도 착실하게 확대해 갈 것이 기대된다. Photo. 1-14에 주요 용도 예를 나타낸다.

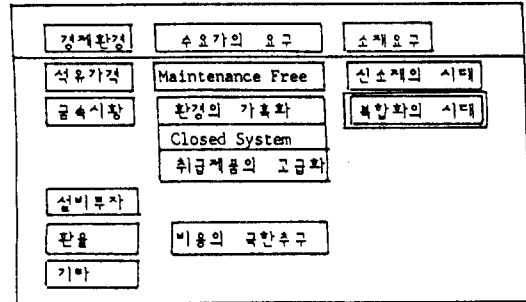


Fig.11 클래드강의 용도 확대조건

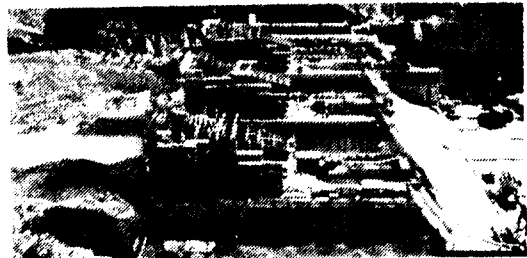


Photo.3 댐 게이트-망류실비-(스테인레스 클래드강)

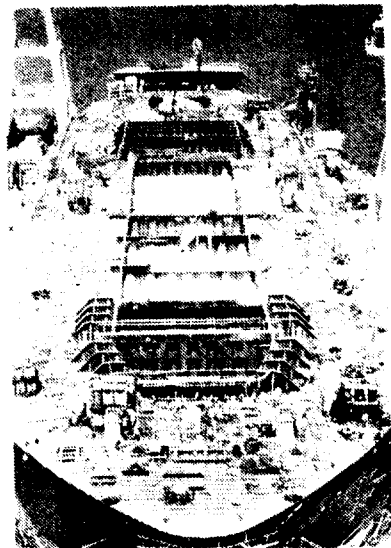


Photo.4 케미컬 탱커-탱크-(스테인레스 클래드강)

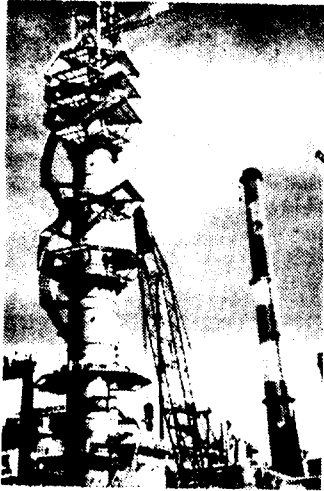


Photo.5 제지펄프 공업-다이제스터-
(스테인레스 클래드강)

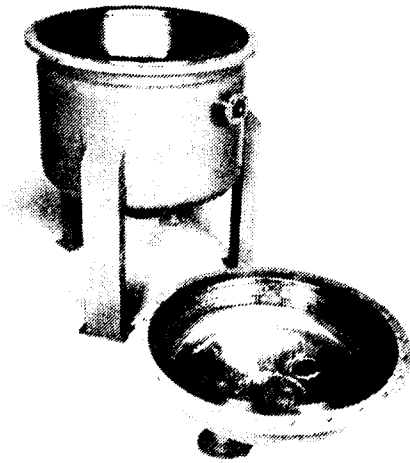


Photo.8 티탄클래드제 열교환기관관
(압연티탄 클래드강)



Photo.6 천연가스 채취파이프
(스테인레스 클래드강)



Photo.9 해수담수화장치
(스테인레스 클래드강 및 동합금 클래드강)

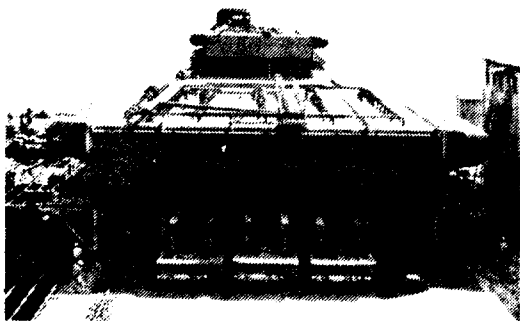


Photo.7 티탄클래드강제 반응 용기
(압연티탄 클래드강)



Photo.10 열교환기관관(Naval황동 클래드강)



Photo.11 극저온용 이중재 배관이음



전자조리냄비와 부엌칼



현관 주차장

Photo.12 박판 클래드강의 용도 예 (스테인레스 클래드강)



Photo.13 농기구(Plow)
-고탄소강 클래드강판-



Photo.14 리니어 모터 카운 리액션 플레이트 (알루미늄 클래드강)

5.2. 복합기능재료로서의 클래드강의 특성과 경제성

전절에서 나타낸 바와 같이 다양한 클래드강의 용도는 단일의 소재에는 없는 뛰어난 기능성과 경제성에 의한 것이다. 보통, 클래드강을 단순히 고가인 금속을 최소화한 사용을 것에 의한 소재 원가 절감의 목적만으로서의 재료로서 생각하겠지만, 실제로는 많은 복합기능을 가지고 있고, Table 3에 그 대표 예를 나타낸다.

이 중에서 가장 기본적인 기능은 내식성과 강도의 조합이다. 클래드재에 내식성을 분담시키고, 모재에 강도를 분담시켜 이용하는 방법으로 전체적으로 합리적 설계가 가능하게 된다. 그 이유는 예를 들면, 스테인레스 단일재로 설계하는 경우, 고온허용응력이 작기 때문에 두께가 두껍게 되어 압력용기 전체로서 현저한 중량 증가가 되기 때문이다.

열전도성에 관해서는 교반반응조의 예가 있다. 이 종류의 반응조에는 온도제어 때문에 자켓을 갖는 것이 많지만 동환에 스테인레스 클래드강이나 티탄 클래드강을 이용하면, 탄소강에 가까운 열전도성이 얻어지므로 스테인레스강과 티탄보다 온도 제어성이 향상된다.

스테인레스 클래드강이 오스테나이트계 스테인레스강의 약점인 응력부식균열을 관통시키지 않거나 혹은 방지하는 기능을 살려 온수 탱크에 사용되고 있는 것은 널리 알려져 있다.

또 제염 플랜트나 펄프 증해조 등에서 실제로 응력부식균열이 정지한 실례가 있다.

Table 3 복합기능재료로서의 클래드강의 특징과 경제성

경합기능	적 용 예
내식성+강도	고온고압화학반응용기 수문 케미컬 탱커
내식성+열전도성	자켓볼이 교반반응조 플레이트 열교환기
응력부식균열정지	온수탱크 파이프 다이제스터
강자성+기타기능	전자조리기 리니어 모터 리액션 플레 이트
내마모성+인성	농기구 칼종류
이종재이음	Al합금 LNG탱크

강자성체로서의 강과 깨끗하고 위생적인 스테인
레스강을 조합한 전자조리냄비는 박판클래드강의

주용도이고, 또 강자성체 또는 강도부재인 강과
양도체인 Al이나 Cu를 조합한 리니어 모터 부품
은 최근 주목되고 있다. 내마모와 인성을 겸비한
칼 종류나 농기구(Plaw)는 클래드강의 역사 중
에서 가장 오래된 용도이다.

이종재 이음도 폭접 클래드강의 중요한 용도로,
파이프 이음이나 전극, Al합금제 LNG탱크의 지
부부재로서 사용되고 있다. 넓은 의미의 이종재
이음 기능으로서는 다른 클래드강에서도 공통되는
것이 있고, 예를 들면 케미컬 탱커나 수문에 있어
서 클래드재는 클래드재끼리, 모재는 모재끼리 공
금용접이 가능한 것은 숨겨진 기능성의 하나라고
말할 수 있다.

이상의 예시에서 이해되는 바와 같이 클래드강
은 다양한 기능성과 경제성을 겸비한 뛰어난 복합
재료라고 말할 수 있다. <다음호에 계속>

*** 회원주소 변경 통보 안내 ***

회원 여러분의 근무처나 부서이동 등으로 주소가 변경되어 학회지 및 기타 안내 통신
이 반송 및 분실되는 사례가 많으므로 주소 및 연락처가 변경된 회원께서는 반드시
사무국으로 다음 사항을 통지해 주셔서 학회 업무에 협조해 주시기 바랍니다.

1. 회사 및 부서 변경회원
우편번호, 회사주소, 회사명, 부서명, 전화번호, FAX No.
2. 주거지 주소 변경회원
우편번호, 주소, 전화번호
3. 사무국 주소
☎ 305-343 대전시 유성구 장동 71 한국기계연구소내
사단법인 대한용접학회
전화번호 (042) 861-2696
FAX. No. (042) 861-1172