

주 제 : 밸브의 시팅 구조 강화를 위한 하드페이싱과 박리현상에 대하여

밸브는 유체의 흐름을 개폐하는 차단밸브와 유체 흐름(압력, 온도, 유량)을 시스템의 제어 목적에 맞도록 조절하는 제어밸브, 그리고 유체 시스템의 과압으로부터 계통의 보호를 목적으로 하는 안전밸브로 크게 구분할 수 있다. 이들 모든 밸브의 핵심기능은 유체시스템의 물리적 화학적인 어떤 조건하에서도 안전하게 밸브의 본연의 기능을 수행하여야 하는데, 하나는 유체 시스템에 작용하는 어떠한 압력 조건하에서도 밸브가 안전하게 유지되어야 하는 구조 안전성의 문제와 유체 시스템의 제어적 측면에서 밸브의 제어요소인 밸브 트림의 건전성 문제이다. 본 보고서에서는 구조 안전성 문제는 논외로 하고, 밸브 트림의 건전성 문제 중 차단기능의 핵심인 시팅 구조에 있어서 하드페이싱 처리방법과 이에 따르는 적용사례 및 관련 문제점에 대한 대책방안을 제시하고자 한다.

1. 하드페이싱의 종류 및 표면처리 방법

밸브 시팅부의 하드페이싱의 한가지 예로써, API standard 600 Steel Gate Valves, Table 8 - Nominal Seating Surface, Stem and Backseat Bushing or Weld-deposit Material and Hardness 에 규정되어 있다. 이 규정에서는 대표적인 하드페이싱 재질로 13Cr, NiCr 합금 및 Stellite #6 으로 대표되는 CoCr 합금을 들고 있다.

스텔라이트 합금의 종류와 특징

Stellite 는 현재 Kennametal 사의 등록상표로써, 금속 표면의 물리적, 화학적 특성을 강화하기 위하여 주로 용접을 통하여 밸브의 시팅부를 강화시키는 초합금강이다.

현재 Kennametal 에서 판매중인 밸브 시트의 표면강화를 위한 Stellite 의 종류는 다음의 표와 같다. Stellite 는 코발트가 주요 조성 원소로서 Cr 과 더불어 상당량 함유되어 있으며, Fe 는 모두 3% 미만이다.

주 제 : 밸브의 시팅 구조 강화를 위한 하드페이싱과 박리현상에 대하여

ALLOY	NOMINAL ANALYSIS OF WELDING ROD ¹								Others	UNS	ASME/ AWS ²	Hardness (HRC) ³
	Co	Cr	W	C	Ni	Mo	Fe	Si				
COBALT-BASED ALLOY BARE WELDING RODS												
Stellite™ alloy 1	Bal.	32	12	2.45	<3.0	<1.0	<3.0	<2.0	<0.5	R30001	(SFA 5.21 ERCoCr-C	51-56
Stellite™ alloy 6	Bal.	30	4-5	1.2	<3.0	<1.0	<3.0	<2.0	<0.5	R30006	(SFA 5.21 ERCoCr-A	40-45
Stellite™ alloy 12	Bal.	30	8	1.55	<3.0	<1.0	<3.0	<2.0	<0.5	R30012	(SFA 5.21 ERCoCr-B	46-51
Stellite™ alloy 20	Bal.	33	16	2.45	<3.0	<1.0	<3.0	<2.0	<0.5	-	-	53-59
Stellite™ alloy 21	Bal.	28	-	0.25	3	5.2	<3.0	<1.5	<0.5	R30021	(SFA 5.21 ERCoCr-E	28-40*
Stellite™ alloy 25	Bal.	20	14	0.1	10	<1.0	<3.0	<1.0	<0.5	-	-	20-45*
Stellite™ alloy F	Bal.	26	12	1.7	22	<1.0	<3.0	<2.0	<0.5	R30002	(SFA 5.21 ERCoCr-F	40-45*
Stellite™ alloy 706	Bal.	31	-	1.2	<3.0	4	<3.0	<1.0	<1.0	-	-	39-44
Stellite™ alloy 712	Bal.	31	-	1.55	<3.0	8	<3.0	<2.0	<1.0	-	-	46-51
ULTIMET™ **	Bal.	26	2	0.06	9	5	3	-	<1.0	R31233	-	28-45*

또한 NiCr 를 기본으로 하는 비코발트계 표면 강화합금으로는 다음과 같은 것이 있다.

ALLOY	NOMINAL ANALYSIS OF WELDING ROD ¹								Others	UNS	ASME/ AWS ²	Hardness (HRC) ³
	Co	Cr	W	C	Ni	Mo	Fe	Si				
NICKEL-BASED ALLOY BARE WELDING RODS												
Nistelle™ alloy C	-	17	5	0.1	Bal.	17	6	-	0.3%V	N30002	-	17-27*
Deloro™ alloy 40	-	12	-	0.4	Bal.	-	2-3	2.9	1.6% B	N99644	(SFA 5.21 ERNiCr-A	36-42
Deloro™ alloy 50	-	12	-	0.5	Bal.	-	3-5	3.5	2.2% B	N99645	(SFA 5.21 ERNiCr-B	48-55
Deloro™ alloy 55	-	12	-	0.6	Bal.	-	3-5	4.0	2.3% B	-	-	52-57
Deloro™ alloy 60	-	13	-	0.7	Bal.	-	3-5	4.3	3.0% B	N99646	(SFA 5.21 ERNiCr-C	57-62

또 다른 비코발트계 표면 강화합금으로는 미국 Wall Colmonoy 사의 Ni-베이스 합금으로 상표명이 Colmonoy 인 합금이 있다.

2. 스텔라이트 합금의 용접 방법

스텔라이트를 밸브의 시팅부인 디스크와 디스크 표면에 육성하여 용접하는 방법으로는 스텔라이트 분말을 PTA(Plasma Transferred Arc) 용접 또는 레이저 용접으로, 용접봉 또는 와이어인 경우에는 GTA(Gas Tungsten Arc) 용접으로, 그리고 와이어를 이용하여 GMA(Gas Metal Arc) 용접 및 피복된 용접봉을 사용한 SMA(Shield Metal Arc) 용접 등이 있다. 주로 수동 육성 용접방법은 GTAW 가 대부분이며, 간혹 SMAW 도 사용한다. 자동 용접방법으로는 PTAW 가 가장 생산성과 제어성이 양호하다. GTAW, GMAW 도 와이어를 이용하여 자동 용접화 할 수 있으나 생산성은 PTAW 에 비하여 떨어진다.

주 제 : 밸브의 시팅 구조 강화를 위한 하드페이싱과 박리현상에 대하여

3. 용접 방법 및 절차에 대한 토론

1) PTAW 에 의한 하드페이싱

PTAW 프로세스는 비소모성 텅그스텝 전극(-)과 구리 플라즈마 노즐(+))사이에 형성된 전기 아크를 통과하는 알곤 가스의 이온화로 발생하는 고밀도 플라즈마를 특징으로 한다. 전달된 아크(Transferred Arc)라고 하는 두번째 아크는 모재와 용접재인 분말을 함께 모두 용융시키는 에너지를 만들어 모재에 스텔라이드를 용착시킨다. 전달된 플라즈마의 온도는 8000~18000°C 범위로 제어된다. 그림 1 은 PTAW 플라즈마 노즐의 상세이다.

PTAW 에 의한 하드페이싱은 대부분의 많은 밸브제작사가 채택하고 있는데, 이는 제어의 편리함과 자동화가 용이하고 매우 높은 온도를 이용하기 때문에 코발트기반의 탄화물 합금강의 하드페이싱에 유리하다. 그러나 높은 수준의 용접열 입력으로 모재에 용융 용접 풀(weld pool)를 크게 만들 수 있어, 이 곳 용접 풀에서 모재의 철(Fe) 성분과 용접재의 주 성분인 코발트(Co)와 크롬(Cr)이 확산(Diffusion) 또는 희석(Dilution)되어 성질을 평가할 수 없는 새로운 합금층이 생긴다. 합금층의 야금구조는 국부적으로 불균일하며, 용접 공정의 특성 및 용접자세 등 형상의 차이와 같은 요인으로 인하여 예측 평가가 매우 어렵다. 이러한 현상은 하드페이싱 1 차 패스 층(First welding layer)에서 발생한다. 이 현상을 제어하기 위하여는 PTAW 공정을 자동화하여 매우 낮은 5% 이내의 Fe 확산이 되는 용접을 할 수 있으나, 이 때에는 용접의 육성용접 속도를 매우 느리게 하여야 하는 생산성의 문제에 직면하게 된다. 특히 Co-Fe, Cr-Fe 에 의한 용융금속 경계층은 지속적인 고온 서비스에 의한 Fe 의 확산으로 경계층의 폭이 증가될 수 있으며, 실제로 이 경계층에서 Fe 는 증가되고, Co 는 감소되어 단단하고 부서지기 쉬운 Co-Fe 상이 형성됨을 예상할 수 있다.

주 제 : 밸브의 시팅 구조 강화를 위한 하드페이싱과 박리현상에 대하여

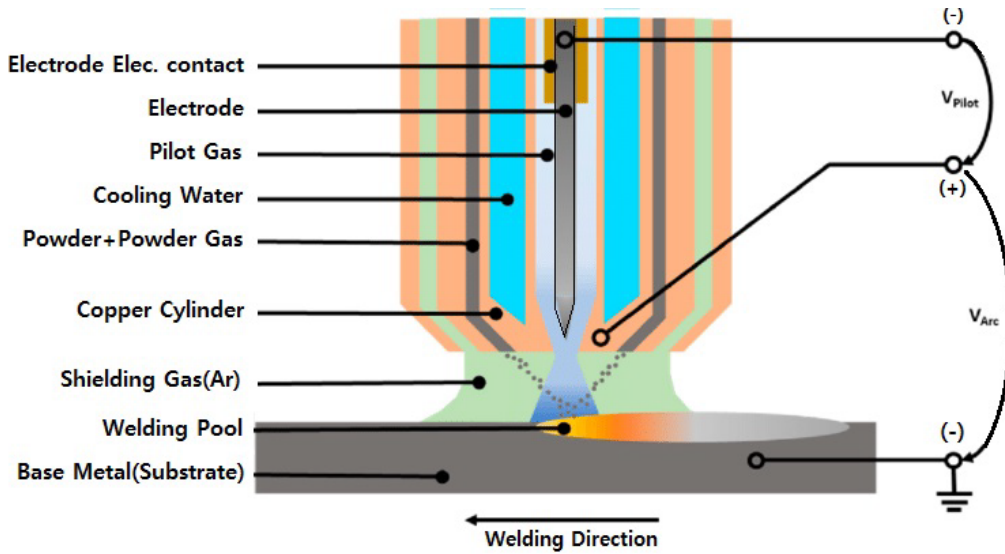


그림 1. PTAW 원리

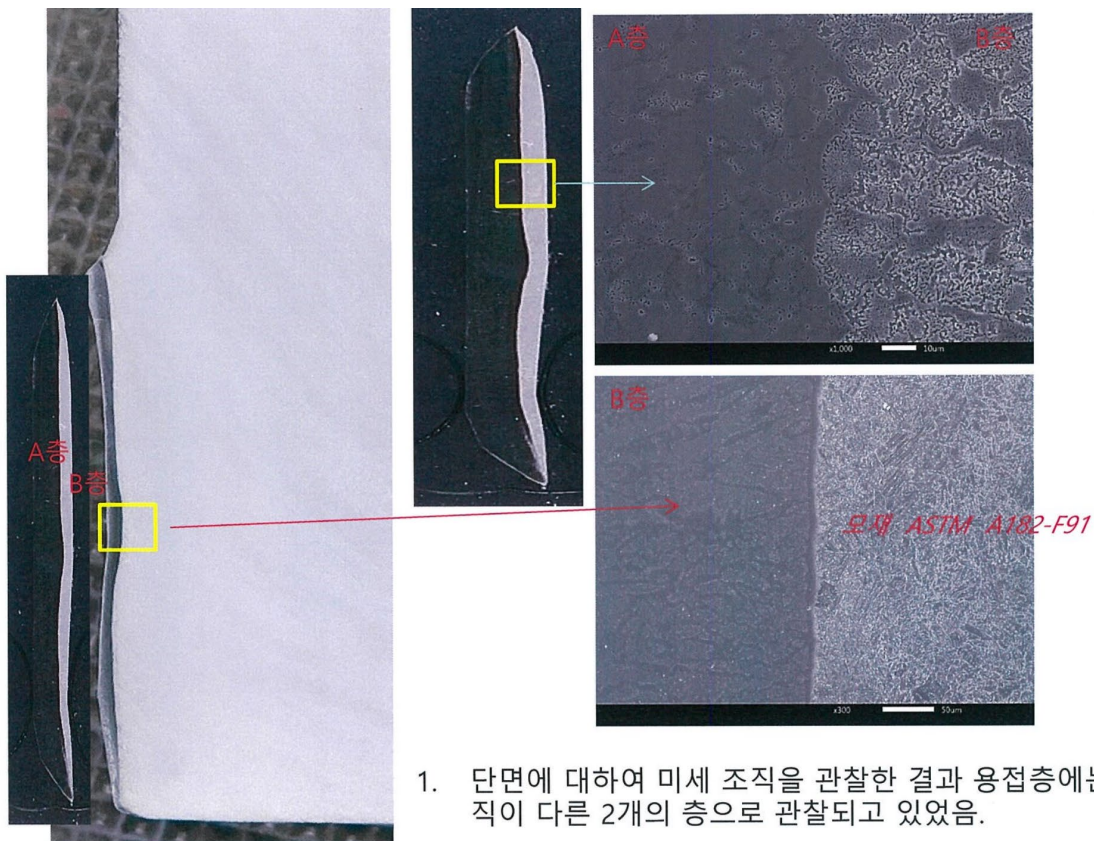
토론

- 스텐인레스강 및 철-크롬의 합금강은 시그마상(Sigma-Phase) 취성으로 알려진 결정립계(Grain Boundary)에 민감(취약)하다. 특히 565~925°C의 온도범위에서 장기간 노출되면 입계에서의 크롬이 감소하여 입계부식에 취약해진다. 시그마상은 크롬과 철로 구성된 금속간 화합물로 단단하고 부서지기 쉬우며 비자성의 성질을 갖는다. 15-70% 크롬을 함유한 철-크롬 합금은 시그마상 형성에 필요한 시간보다 현저하게 짧은 기간 동안 400-540° C(750-1005° F)의 온도 범위에 노출될 경우 연성 및 내식성의 심각한 손실과 함께 경도의 현저한 증가를 나타낼 수 있다. 이를 475°C 취성이라고 한다. 시그마상은 화학식 Fe-Cr 을 갖는 금속간 화합물로 취성에 약한 특징이 있다. Y 사 현장에서 발생한 주증기 차단용 밸브의 디스크 스텔라이트 용접부 박리현상에 대한 관계기관의 분석에 의하면, 스텔라이트 용접 손상부 단면의 미세조직에서 조직이 다른 2 개의 층의 미세조직이 관찰되었으며, 이 부분의 SEM-EDS 의 분석 결과 그 화학적 성분은 다음과 같이 측정되었다.

성분	Si	Cr	Fe	Co	Ni	W	V	Mo	
A 부분(손상용접부)	0.97	27.92	19.46	46.53	1.5	3.62			
B 부분(손상용접부)	1.10	31.29	35.96	25.40	1.44	3.65	0.21	0.94	
Alloy 6(코드기준)	1.5	30	3.0	55	3.0	4.5		1.5	기준
Alloy 6(실제용접부)	1.24	30.75	9.05	51.83	2.35	4.78	-	-	실제채취
Gr 91(손상제품 모재)	0.29	8.68	89.2	-	0.15	-	0.2	1.0	모재

주 제 : 밸브의 시팅 구조 강화를 위한 하드페이싱과 박리현상에 대하여

여기에서 A 부분은 크랙 손상부를 경계로 스텔라이트 육성 부분이며, B 부분은 모재 부분이다. 또한 실제 용접부는 손상제품에 대한 비교용으로 스텔라이트를 육성 용접한 부분의 화학적 성분을 표시한다. A, B 손상부를 경계로 Fe 가 A 부분으로 확산하여 Cr 이 27.92%로 높아지며 Fe-Cr 의 시그마상이 생성될 가능성이 높아지고, 용접온도(층간 온도)가 400°C를 초과하게 되면, 경도의 현저한 증가와 더불어 조직의 경계가 물리적으로 더욱 분명해진다. 이후 장기간 고온(주증기 계통의 경우 운전온도는 560°C이상으로 봄)으로 운전하게 되면, 시그마상 취성으로 인하여 크롬이 감소하고, 입계에 부식이 발생하고, 국부적인 높은 경도로 인하여 크랙의 발생 가능성을 더욱 높이게 된다.



1. 단면에 대하여 미세 조직을 관찰한 결과 용접층에는 미세조직이 다른 2개의 층으로 관찰되고 있음.

그림 2. 관계 공인 시험기관의 조직 분석 사진

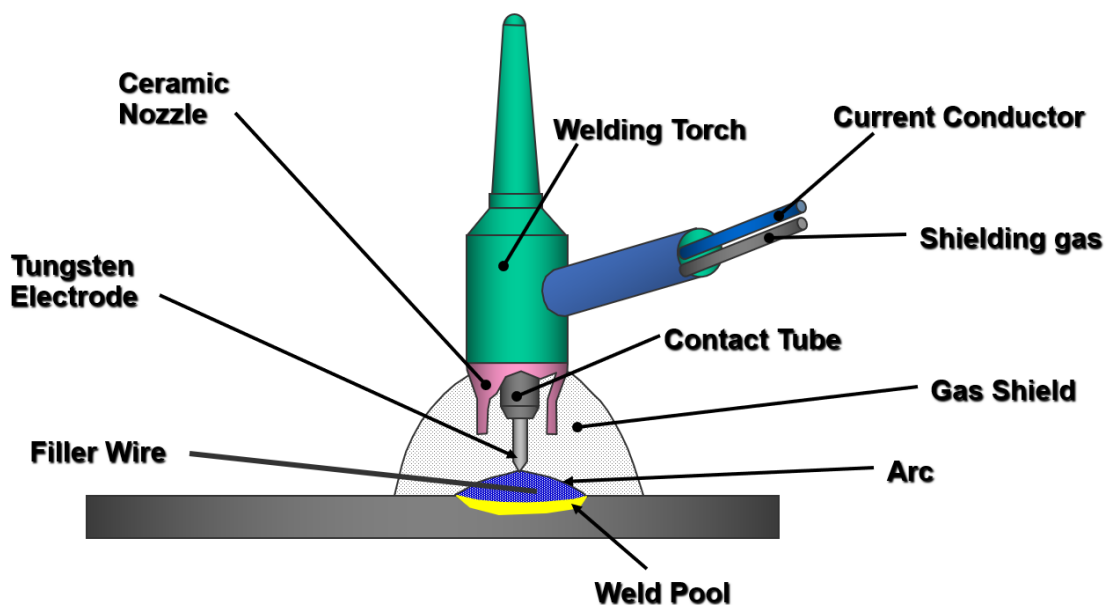
따라서 8,000~18,000°C의 초고온 열원이 발생하는 PTAW 용접에서는 층간온도의 관리를 어떻게 할 것인가를 PTAW 자동 용접기 특성에 맞춰 설정해야 할 것이다.

주 제 : 밸브의 시팅 구조 강화를 위한 하드페이싱과 박리현상에 대하여

- 장기간 고온상태 하에서 운전되는 경우, Fe 의 스텔라이트 부 확산에 의한 Co-Fe 상은 스텔라이트 육성 용접부에 Fe 의 현저한 증가와 더불어 Co, Cr 의 현저한 감소로 이어져 용접부 경계면의 국부 경도의 증가는 물론 조직의 취약성을 증대시킨다. 이러한 결과는 스텔라이트 육성 용접부의 박리를 가져올 수 있다. (Jiankun Xiong 외, Microstructure Evolution and Failure Behavior of Stellite 6 Coating on Steel after Long-Time Service, MDPI, 22 Aug., 2019)
- 475°C 취성에 대한 관련 논문집 확인 : Farej Ahmed Alhegagi, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 6, Issue 9, September-2015, ISSN 2229-5518
- 시그마상 취성에 대한 논문 확인 : Overview of Intermetallic Sigma Phase precipitation in Stainless Steel, International Scholarly Research Network ISRN Metallurgy Vol. 2012, Article ID 732471, 16 pages doi:10.5402/2012/732471

2) GTAW 에 의한 하드페이싱

GTAW 에 의한 하드페이싱은 아래 그림 2 와 같이 용접재인 Filler Wire(Rod)를 텅그스텐 전극과 모재사이에서 발생하는 아크열로 용해하여 육성하는 것으로 성능에 영향을 미치는 요인은 전압(V)와 전류(A), 그리고 극성(Polarity)이다.



주 제 : 밸브의 시팅 구조 강화를 위한 하드페이싱과 박리현상에 대하여

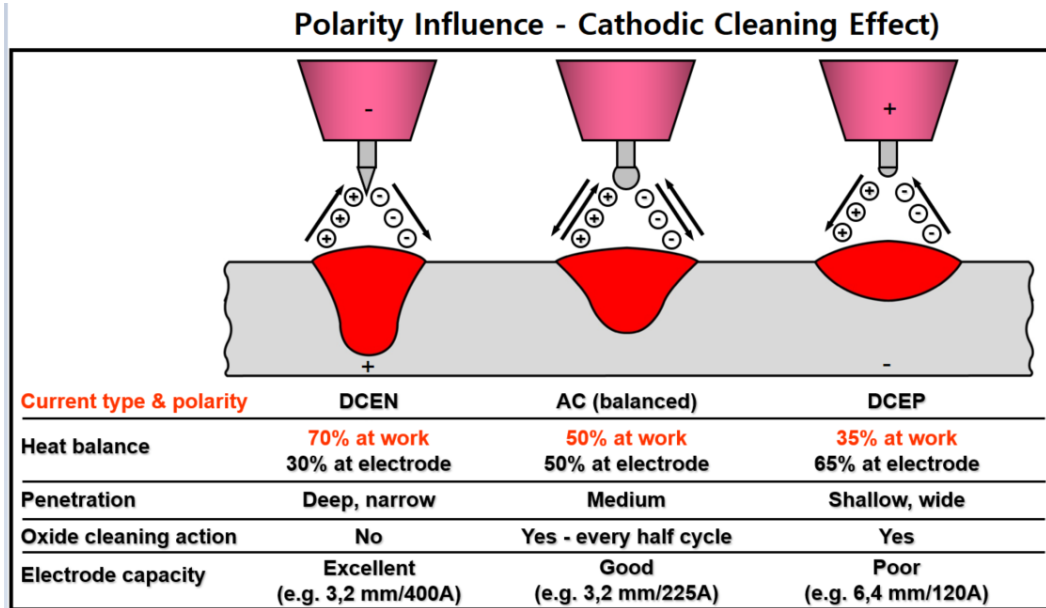


그림 3. GTAW 의 용접

극히 극성은 스텔라이트 하드페이싱의 경우, DCEP 방식으로 함이 용접 풀의 깊이를 낮게 할 수 있음으로 유리할 것으로 평가한다. 그러나 글로브 밸브와 같이 일체형 하드페이싱 시트일 경우에는 DCEN 방식도 용접검증작업을 통하여 그 유효성을 평가할 필요가 있다. GTAW 의 경우, 용접사의 기량이 하드페이싱 용접 품질에 직접적인 영향을 주게 됨으로 다음과 같은 사항들에 대하여 사전 검증이 필요하다. 특히 최초 첫번째의 용접층은 하드페이싱의 전체적인 품질에 가장 큰 영향을 미치므로 용접사의 기량과 용접기술 지식은 매우 중요하다.

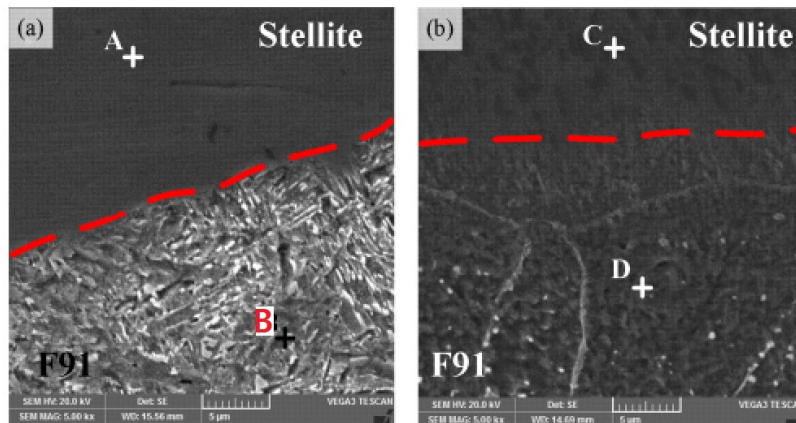
토론

- 아크 발생 방법(Arc Initiation Method) : 수동의 Lift Arc 로 할 것인가? HF Start 방법으로 할 것인가?
- TIG 토치의 텅그스텐 전극봉 연장길이는 전극봉 직경의 2~3 배인가? 너무 길게 연장이 되어 있으면 오버히팅이 될 수 있고, 너무 짧으면 용접이 불안정하게 될 수 있다.
- 수소 침입에 의한 크랙현상에 대하여 숙지하고 용접하는가? 예열, 층간 용접 온도, 수소 제거방안 (Hydrogen Baking)등의 용접절차에 대한 문제와, 용접사가 용접 아크 중 오염된 전극봉이나 불결한 주변환경에 의해 수소가 쉽게 침입할 수 있음을 인식하고 있는가? 이러한 수소에 의한 크랙은 용접 열영향부(HAZ)에서 발생 진전한다.

주 제 : 밸브의 시팅 구조 강화를 위한 하드페이싱과 박리현상에 대하여

- 스텔라이트 열팽창계수와 모재의 열팽창계수 차이에 의해서 스텔라이트 육성부에 보다 큰 잔류응력이 생김. 모재와의 경계부에는 잔류응력 차이에 의해 용접 경계부에 인장력이 발생하고, 이로 인하여 크랙 발생의 가능성이 높아짐. 아울러 매 용접층(welding pass) 마다 인장력은 증가하며, 열입력(heat input)이 클수록 수축정도도 증가하므로 이들 요소들을 완화시킬 수 있는 방안이 필요

- 그림 5(참고문헌 1)에서 보는 바와 같이 스텔라이트 육성 용접부와 용융부 사이의 "라이트 존"은 유사한 조건하에서 다중 패스 GTA 용접을 한 것으로 샘플 #1 은 육성용접 직후의 상태이고, 샘플 시편 #2 는 566 도, 99.4barg 의 운전 환경에서 3 년간 운전된 크랙 손상된 스텔라이트 육성 용접부의 경도를 F91 모재부에서 스텔라이트 육성 용접부까지의 마이크로 경도를 보여준 것이다. 논문은 "Light" 영역(Zone)에서 운전과정 중 Fe 의 스텔라이트 육성용접 영역으로 상당량의 Fe 가 확산된 결과를 보이고(그림 4), 경도가 높아졌음을 보여주고 있다. 특히 용융지역(Fusion Zone)에서의 급격스러운 경도 변화는 크랙 발생의 환경을 높이고 있음을 보여준다.



비교시편 #1

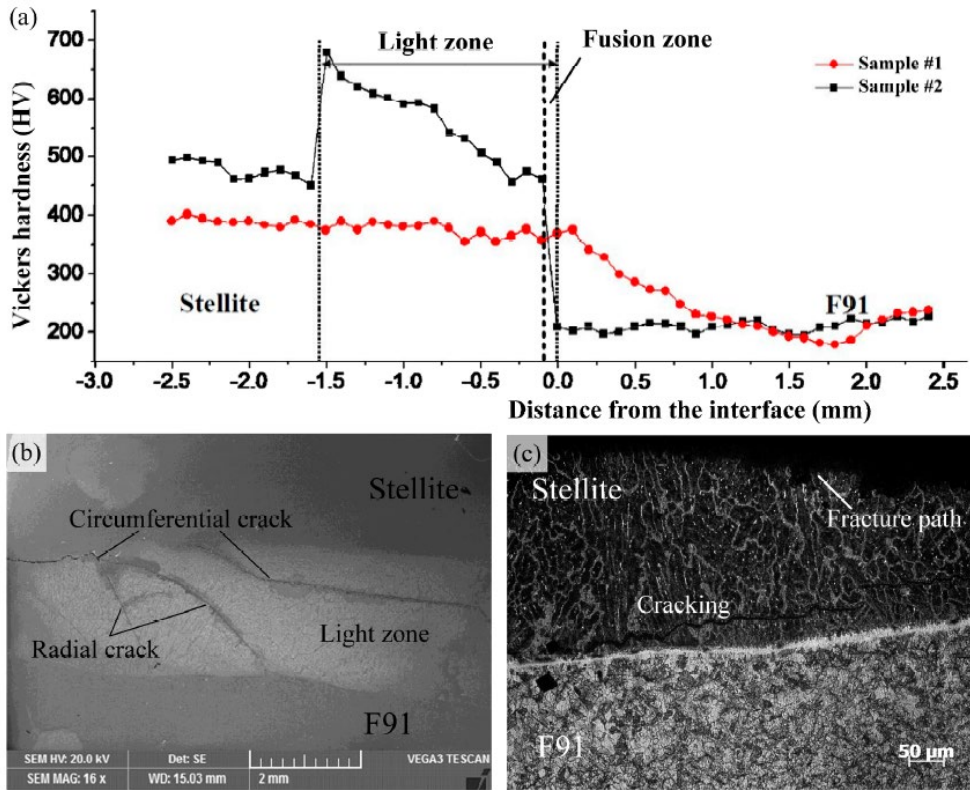
비교 손상시편 #2

주요 성분 비교

Position	Element (mol %)				
	Fe	Co	Cr	W	
#1	A	46.86	28.48	20.17	4.49
	B	89.13	1.32	9.55	-
#2	C	76.69	13.21	8.08	2.02
	D	88.47	-	11.53	-

그림 4. 비교 시편 대비 손상 시편 용접면의 주요성분 비교

주 제 : 밸브의 시팅 구조 강화를 위한 하드페이싱과 박리현상에 대하여



(a) Transverse micro-hardness profiles of new Stellite Sample #1 & Cracked Stellite Sample #2
 (b) Image of cracks distribution of Sample #2
 (c) Image of fracture paths in partial region of Sample #2

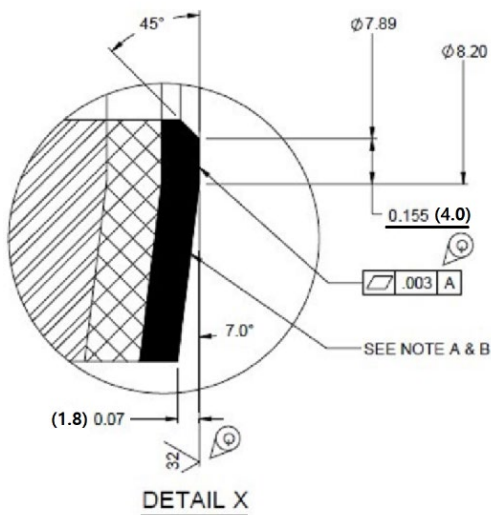
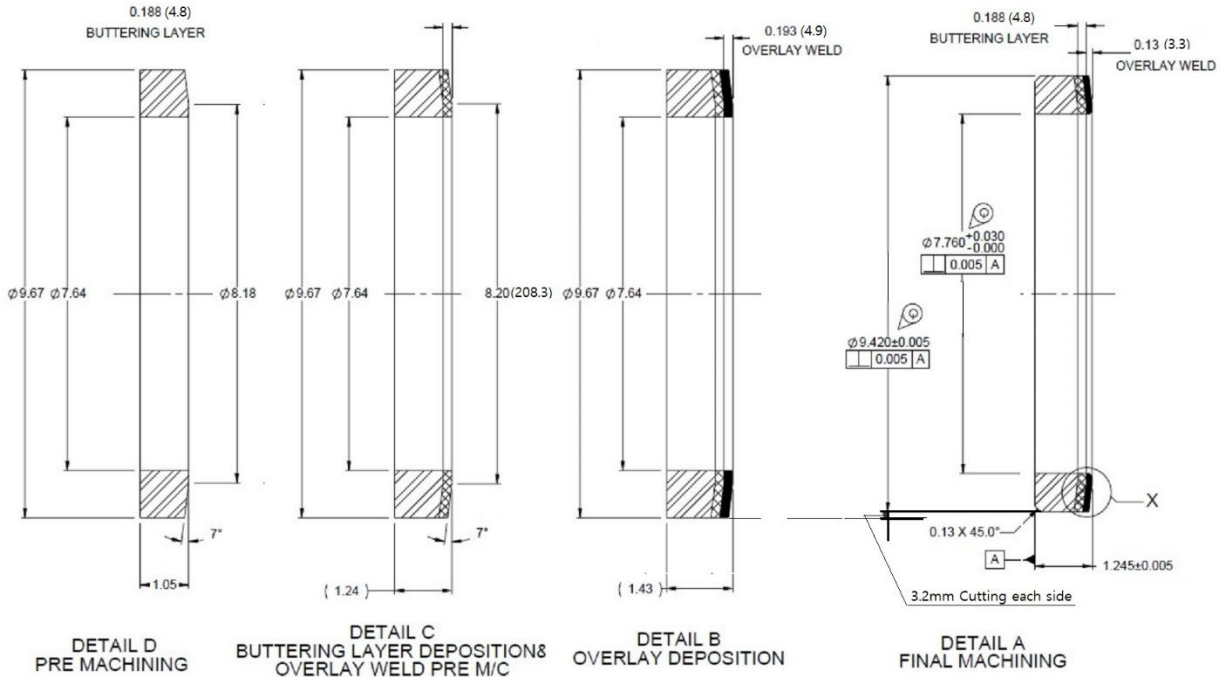
그림 5. 비교 시편과 손상 시편의 Light Zone 에서의 경도 및 손상 시편의 크랙 상태

주 제 : 밸브의 시팅 구조 강화를 위한 하드페이싱과 박리현상에 대하여

3) 용접 레이아웃에 대한 검토 및 비교

3-1) 시트링의 하드페이싱 용접 설계

[참조 A 사의 시트링 하드페이싱 설계도]

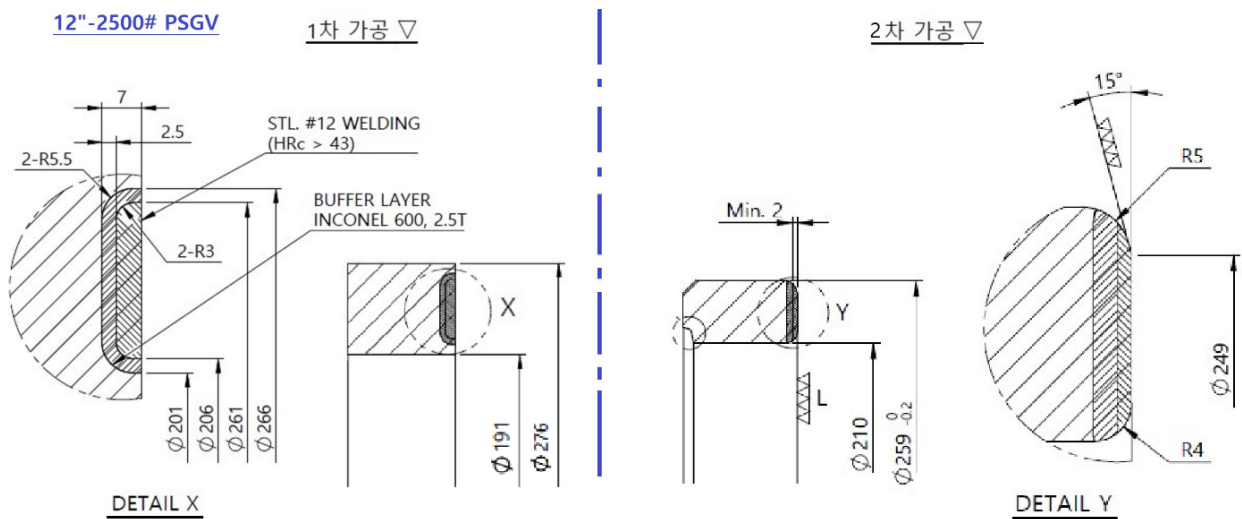


참조 A 사는 미국의 전통 깊은 회사로써, 본고에서 언급한 시트링의 하드페이싱은 10"-1500#급의 단조형 Grade 91/92 PSGV 밸브에 적용한 시트링 하드페이싱 및 완가공 설계도이다. X 사의 게이트밸브 시트링 설계와 비교할 때, 시트링의 폭, 시팅면의 각도, 버터링과 하드페이싱 용접의 량, 실제 시팅 접촉면 사이즈에서 상당한 차이를 보여주고 있다. 버터링 재료로는 310SS 를 채택하였다. 단지 Cr 함량이 25% 수준이나, Co 는 없어 이에 대한 영향은 무시할 수 있다.

반면에 X 사의 용접설계는 아래 그림과 같다. 버터 레이어(Butter Layer) 용접 시 용융된 금속이 흘러내리지 않도록 모아 주고, 이후 스텔라이트 용접에도 같은 이유로 넓은 그루브(Wide Groove)을 만들었지만, 용접 시 모재와 용융된 용접재(필러, Filler)가 함께

주 제 : 밸브의 시팅 구조 강화를 위한 하드페이싱과 박리현상에 대하여

혼합되어 Co-Fe, Cr-Fe 의 상태에서 Fe 의 농도가 더욱 높아질 가능성이 있는 설계로 평가된다. 아울러 버터링(buttering)의 두께를 1 개 용접 패스수준인 2.5mm 로 하고, 이후에 4.5mm 두께의 2~3 패스의 육성 용접을 실시하는 것으로 설계되어 버터링 용접에서 용접사의 기량문제를 고려할 때, 많은 량의 Fe 가 모재로부터 버터링 용접층으로 희석되어 Cr-Fe 에 의한 시그마상을 촉진하고, Fe 농도가 높아지면 듀플렉스 강의 경우처럼 고온 취성 또는 475°C의 취성을 높일 수 있는 환경이 될 수 있다. 듀플렉스 강의 안전한 사용 온도의 범위는 -50~250°C이다.

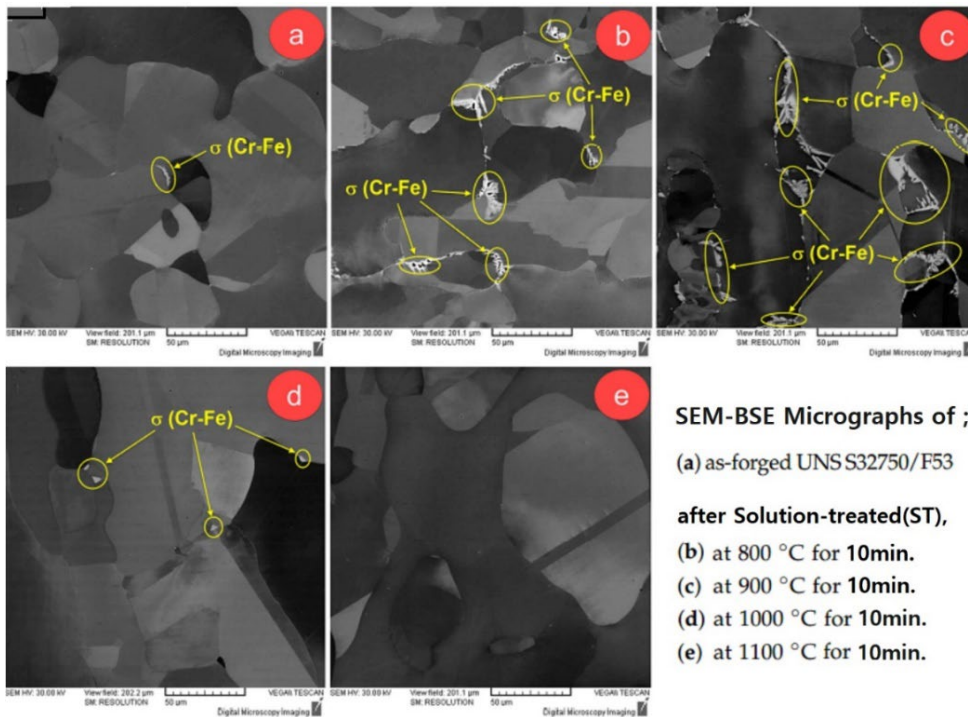


토론 :

- 시팅 접촉면의 최적 폭은 얼마인가? 당사의 경우 시팅 폭은 19.5mm 로 A 사의 4mm 에 비하여 월등하게 폭이 넓다. 최적의 시팅 폭에 대한 논의가 필요
- 디스크가 시팅할 경우, 약간의 틸팅현상이 발생하는데, 이 틸팅현상으로 인한 디스크 시트면의 긁힘(Scratch)을 완화할 수 있는 최적의 가이드 형상에 대한 설계 고려는? 참조 A 사의 경우에는 7 도 각도로 충분한 안내를 유도한 반면, 당사의 경우에는 15 도, R5 로 안전한 안내가 충분한가를 확인해야 할 것으로 평가
- 당사의 스텔라이트 하드페이싱 용접은 넓은 구루브의 양측 얇은 모서리에서 용융이 훨씬 빠르게 일어나면서 버터 레이어뿐만 아니라 스텔라이트 용접부의 양단 엷지에서 Grade 91/92 와 스텔라이트간의 이종 금속의 용융 희석(Dilution)으로 상당량의 Fe 가 확산될 수 있는 설계로 평가. 이러한 구루브와 얇은 엷지는 즉시 제거함이 타당함.

주 제 : 밸브의 시팅 구조 강화를 위한 하드페이싱과 박리현상에 대하여

- 스텔라이트 육성 용접 두께의 경우, A 사는 5mm, 당사의 경우는 4.5mm 로 설계되어 있으나, 시팅면 정삭 가공후의 두께는 A 사 3.3mm, 당사 2mm 로 설계되어 당사의 경우에도 정삭 후 스텔라이트 최적 두께에 대한 논의가 필요
- 버터링 용접과 스텔라이트 육성 용접 후의 용접후열처리(PWHT)는 모재인 Grade 91/92 에서의 응력 이완이 목적이거나, 장시간 A3 변태점 이상의 온도로 열처리 하는 경우, 용융부와 Light Zone 에서의 Cr 과 Co 의 Fe 와의 희석과 이로 인한 Cr 의 증가로 인하여 시그마 상이 발생하는 온도인 565~1000°C의 범위안에 있기 때문에 PWHT 는 가급적 빠른 시간내에 끝내는 것이 좋다. 따라서 실제 시험을 통하여 육성 용접부의 PWHT 열처리 온도와 승온, 유지 및 냉각시간에 대한 재정립이 필요하다. 참고로 다음 페이지의 그림 6 은 듀플렉스 강 S32750(A182-F53)에서 Cr-Fe 의 시그마 상 발생과 성장을 각각의 온도별로 보여준다. S32750(F3) 강의 화학적 성분은 25%Cr, 7%Ni, 4%Mo, 61%Fe 가 주된 성분이다. Cr 성분이 20%를 초과하는 경우, 그림 7 의 쉘플러 다이어그램에 따라 듀플렉스 강으로 분류된다. 실제 BHI 손상사례의 성분을 참고하면 손상 용융부는 듀플렉스 강과 유사한 화학적 성분을 갖고 있다고 볼 수 있다.



Influence of Solution Treatment Temperature on Microstructural Properties of an Industrially Forged UNS S32750/1.4410/F53 Super Duplex Stainless Steel Alloy, MDPI Metal, June 2017

그림 6. 듀플렉스 강 용체화 풀림 과정에서 온도별 시그마 상의 발생과 성장

주 제 : 밸브의 시팅 구조 강화를 위한 하드페이싱과 박리현상에 대하여

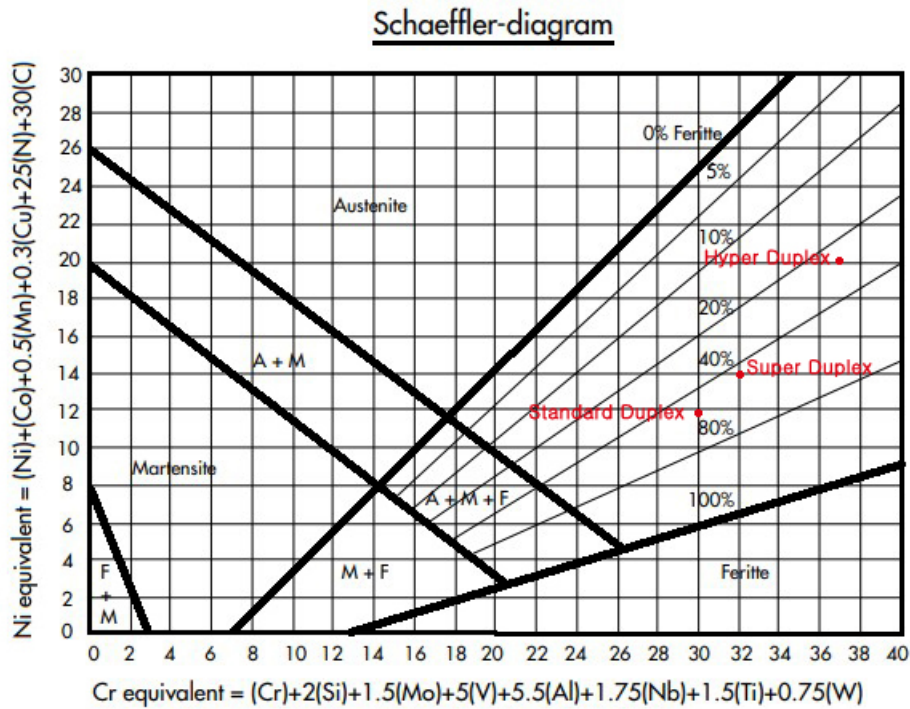


그림 7. Schaeffler Diagram-the position of duplex alloys

- A사와 X사의 버터링 용접 설계와 방법에 대한 구체적인 논의를 실제 PTAW 전문 용접사의 경험과 자체 검증 테스트를 통한 평가가 필요함. 특히 검증 테스트를 위한 세부적인 기술적 논의가 전제되고, 이를 테스트 플랜으로 구체화하여 완벽한 검증을 추구해야 할 것임.

4.0 결론

스텔라이트 육성 용접시 스텔라이트 용융 금속으로의 Fe의 희석은 전반적으로 Co-Fe, Cr-Fe의 형성으로 경도와 함께 취성이 증가될 수 있어 제 1차 육성 용접 패스는 매우 조심스럽게 모재의 Fe가 가능한 한 적게 희석되도록 용접하여야 할 것이다. 권장되는 스텔라이트 하드페이싱부의 1차 용접 패스에서의 Fe 희석량은 적어도 5~8%이내로 통제 관리하여야 추후 장시간 고온 운전시의 Fe 확산문제로 인한 박리현상을 피할 수 있을 것으로 예측한다. 아울러 용접 후열처리에 대한 절차수립을 위한 추가의 연구개발이 필요하다. 결론적으로 용접 자세, 방법, 용접 전류/전압의 철저한 관리 통제와 용접환경, 용접 후열처리에 특별한 주의가 필요하다.

토론항으로 언급한 사항에 대하여는 관련되는 모든 사람들이 모여 깊이 있는 토론을 추가로 하여, 시험항목과 계획을 수립하여야 하며, 결론을 내기 위한 시험이 필수적이다.

주 제 : 밸브의 시팅 구조 강화를 위한 하드페이싱과 박리현상에 대하여

참고문헌

1. Jiankun Xiong 외, Microstructure Evolution and Failure Behavior of Stellite 6 Coating on Steel after Long-Time Service, MDPI, 22 Aug., 2019
2. Farej Ahmed Alhegagi, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 6, Issue 9, September-2015, ISSN 2229-5518
3. Overview of Intermetallic Sigma Phase precipitation in Stainless Steel, International Scholarly Research Network ISRN Metallurgy Vol. 2012, Article ID 732471, 16 pages doi:10.5402/2012/732471
4. Influence of Solution Treatment Temperature on Microstructural Properties of an Industrially Forged UNS S32750/1.4410/F53 Super Duplex Stainless Steel Alloy, MDPI Metal, June 2017