

# Cr-Mo Steel /Austenitic Stainless Overlay 용접부의 수소박리균열 Hydrogen Induced Disbonding for Cr-Mo Steel / Austenitic Stainless Overlay

\*김병훈, 김동진, 김민수, 성운학, 김정태  
두산중공업(주), 기술연구원, 소재/용접기술연구팀

## 1. 서론

석유정제 플랜트의 직접탈황 반응용기는 운전온도가 높기 때문에 통상의 내열강중에서도 고온강도가 높은 Cr-Mo계 저합금강이 사용되며, 내면에는 내식성 확보를 위하여 오스테나이트계 스테인리스강을 오버레이 용접하여 사용하고 있다. 그러나 오버레이 용접부는 반응용기의 기동·정지시에 모재와 오버레이 용접금속의 경계부에서 수소박리균열이 발생하는 경우가 있다. 이는 압력용기 가동중에 침입한 수소에 의해 기인되는 것으로, 운전 정지후 다량의 수소가 모재 쪽으로 확산하여, 경계부 근방에 집적하여 발생하는 일종의 수소 지연균열 현상이다.

반응용기의 효율향상을 위하여 운전조건이 보다 고온·고압화됨에 따라 용기벽에 고용되는 수소량이 증가하게 되고, 경계부에서의 박리균열 생성이 증가될 것으로 예상된다. 이러한 박리균열은 용접재료 및 용접금속뿐만 아니라 모재의 개량이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 V 첨가한 Cr-Mo강에 오스테나이트계 스테인리스강으로 오버레이한 육성용접부의 박리균열 특성에 미치는 미세조직적 인자들에 대하여 고찰하고자 하였다.

## 2. 실험방법

본 실험에 사용된 모재는 2.25Cr-1Mo, 2.25~3Cr-1Mo-V 저합금 내열강이며 오버레이 용접에 사용한 용접재료는 오스테나이트계 스테인리스강으로 표 1에 나타내었다.

용접은 Electro-Slag Welding(ESW)법으로 하였고, 정전압 특성의 직류 역극성으로 하였다. 용접부의 조직은 용접면에 수직인 방향으로 절단한 후 연마하여, 모재부는 나이탈, 오버레이 용접부는 황수+알콜 부식액으로 에칭하여, 광학현미경과 전자현미경(SEM, TEM)으로 관찰하였다. 육성용접부 계면근방의 원소분포와 상의 성분은 SEM/EDX 및 Auger 로 분석하였고 미소경도기를 이용하여 용착금속의 경도를 측정하였다.

박리시험은 고온·고압의 오토클레브(autoclave)를 이용하였으며, 시험온도를 450~575℃, 수소압을 14.7~34.3MPa로 48시간 유지시킨 후 공냉하였다. 박리시험 후 오버레이 계면의 박리유무를 조사하기 위해 시험편을 상온에서 일주일간 방치하면서 UT C-scan장비를 이용하여 확인하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 3Cr-1Mo-V 강 모재에 초층은 STS 309L로 용접전류를 1200A로 용접속도를 15cm/min 으로 ESW 용접후 2층에는 STS 347로 용접전류를 2400A 로 용접속도를 15cm/min 으로 ESW용접한 용접부의 조직을 나타낸 것이다. 그림 2 는 2.25Cr-1Mo-V 강 모재에 STS 347로 용접전류를 1250A 로 용접속도를 21cm/min 으로 Single ESW 용접한 용접부의 용접후 열처리(PWHT) 전후의 미세조직을 나타낸 것이다. 용접한 상태에서는 모재와 오버레이 계면에서는 탄화물층이 관찰되지 않으나 PWHT에 의해 계면에 탄화물이 석출 한 것을 알 수 있다. 용접속도가 증가함에 따라 이러한 천이영역의 폭은 증가하고,  $\delta$  페라이트 량이 감소하고 미세화되는 경향을 나타내고 있다. 그리고 용접속도가 빠를수록 계면에는 조대 결정립이 관찰되지 않았다.

그림 3은 STS 347로 Single ESW 용접한 용접부의 PWHT 시간에 따른 경도변화를 나타낸 것이다. 8시간 이상의 PWHT에 의해 모재부의 경도는 약 220Hv 정도로 일정한 값을 나타내었다.

그림 4는 2.25Cr-1Mo 강과 V을 첨가한 2.25~3Cr-1Mo-V강의 시험온도를 450~575℃, 수소압을 14.7~34.3MPa로 변화시켜 박리시험한 결과를 나타낸 것이다. 박리저항성은 V을 첨가한 강이 첨가하지 않은 강에 비해 훨씬 우수한 것을 알 수 있으며 V 첨가한 강에서도 550℃에서 34.3MPa의 수소압으로 박리시험한 경우 Cr함량이 적은 2.25Cr-1Mo-V강에서는 박리가 발생하지 않았지만 3Cr-1Mo-V강의 경우 박리가 발생 하였다. 이는 모재의 화학성분에 따라 계면에서의 C의 확산 및 탄화물의 석출이 박리저항성에 영향을 미친 것으로 사료된다.

그림 5는 2.25Cr-1Mo 강을 STS 347로 Single ESW 용접한 용접부를 시험온도를 454℃, 수소압을 14.7MPa로 48시간 박리시험한 후의 모재-육성용접경계 부위의 미세조직을 나타낸 것이다. 박리균열은 경계에 평행하게 존재하는 조대결정립계를 따라 명확하게 관찰되며 모재부와 육성용접부와의 경계에서도 박리가 관찰되는 것을 알 수 있다.

그림 6은 2.25Cr-1Mo강과 2.25Cr-1Mo-V강을 각각 550℃, 575℃에서 수소압을 29.4MPa로 48시간 박리시험한 후 UT C-scan장비를 이용하여 박리시험후 시간경과에 따른 박리의 성장과정을 나타낸 것이다. 최종 성장한 후의 박리 비율은 2.25Cr-1Mo강은 31%이며 온도가 높은조건에서 시험한 2.25Cr-1Mo-V강은 3% 이었다.

#### 참고문헌

1. 김동진, 김병훈, 지병하, 김정태 외, "3Cr-1Mo강/STS-309L 오버레이 용접부의 천이영역 조직에 미치는 용접조건 영향" 대한용접학회지 제18권 제2호(2000), p.176
2. 下村順一, 中野善文, "V添加 2¼Cr-1Mo鋼の肉盛容接部の剝離割れ特性", 鐵と鋼, 75(1989), p.798
3. 荒木孝雄, "ステンレス鋼肉盛容接境界部の剝離割れと對策(3)", 容接學會誌 Vol.54, No.7(1985), p.396

Table 1. Chemical composition of base metal and strip electrode(wt%)

Element(wt%)	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Ti	B
2.25Cr-1Mo	0.13	0.22	0.49	0.007	0.007	0.19	2.24	0.99	0.03		
2.25Cr-1Mo-V	0.15	0.09	0.45	0.006	0.001	0.12	2.40	0.98	0.29	0.011	0.0018
3Cr-1Mo-V	0.14	0.11	0.41	0.009	0.002	0.10	2.90	0.95	0.30	0.031	0.0020
STS 309L	0.020	0.82	1.60	0.020	0.001	11.42	22.60	0.05			
STS 347	0.020	0.18	1.80	0.021	0.003	11.08	21.83	0.12			

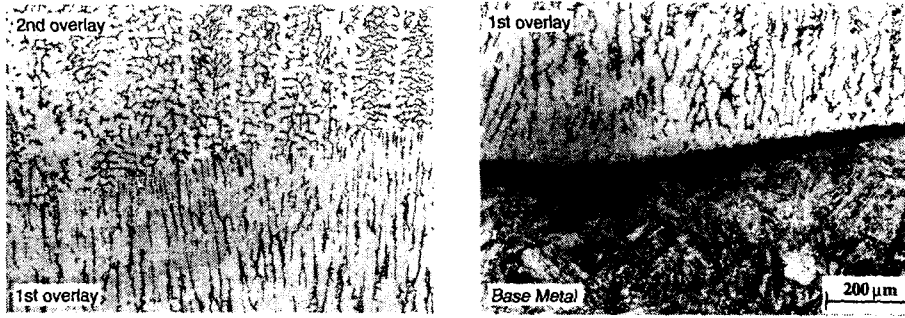


Fig. 1 Microstructures of the interfaces of double overlay on 3Cr-1Mo-0.25V steel after PWHT at 690°C for 24h.

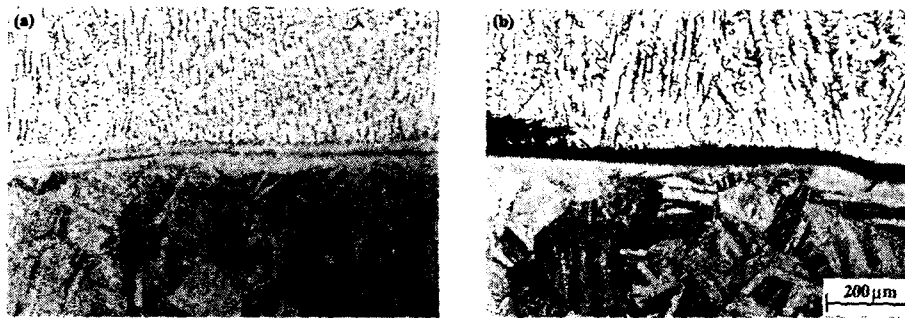


Fig. 2 Microstructures of the interfaces of single overlay on 2.25Cr-1Mo-0.25V steel  
 a) as welded state  
 b) PWHT at 700°C for 24h.

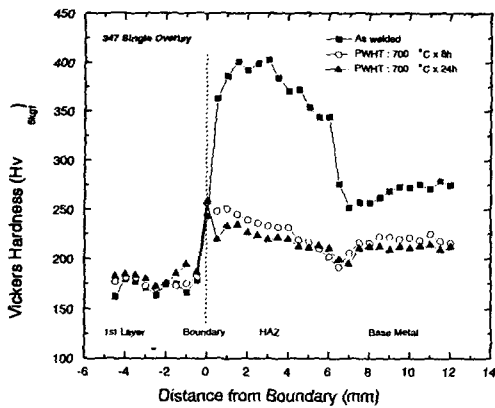


Fig. 3 Distribution of Vickers hardness in the base metal, transition zone of the 2.25Cr-1Mo-0.25V steel

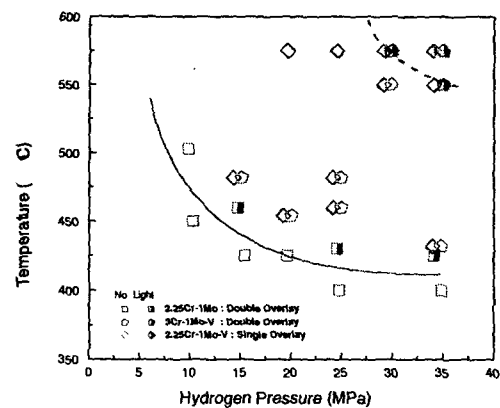


Fig. 4 Effect of hydrogen pressure and temperature on the hydrogen induced disbonding

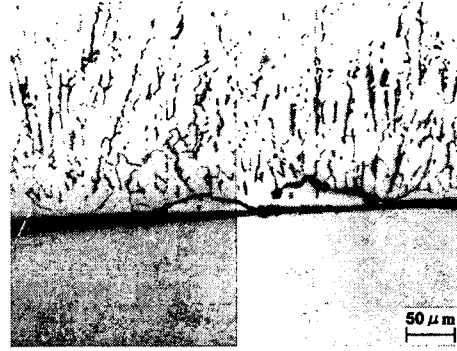
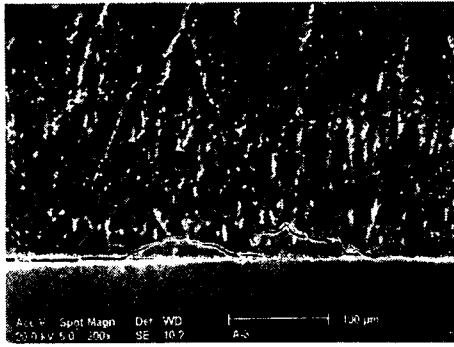
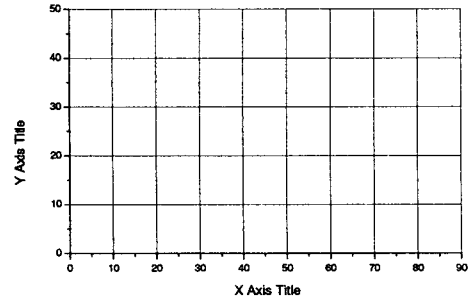
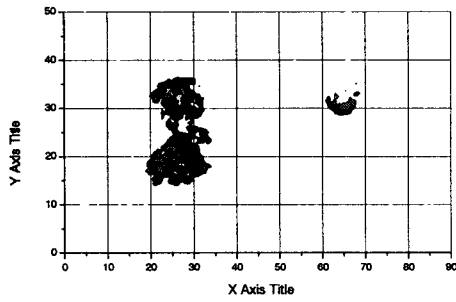
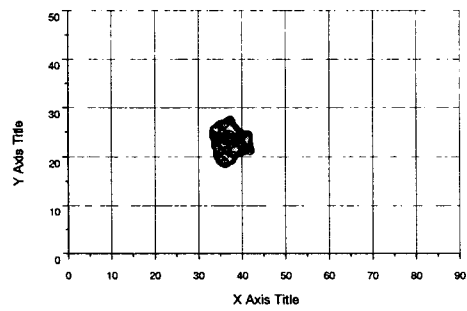
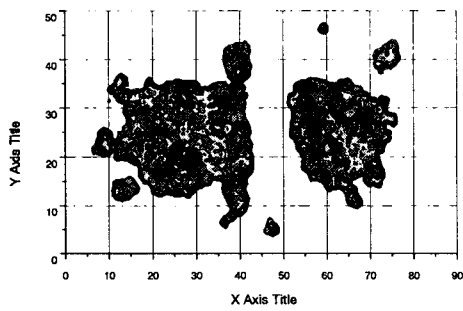


Fig. 5 Microstructures of disbonding occurred in the transition zone after hydrogen disbonding test.



1 day



7 days

a)

b)

Fig. 6 Test results of UT C Scan (15MHz Immersion focusing transducer)  
 a) 2.25Cr-1Mo steel    b) 2.25Cr-1Mo-V steel