

## 내HIC보증용 A516-70강의 HAZ품질특성에 미치는 Cr, Nb 및 Ti의 영향

Effect of Cr, Nb and Ti on the properties in HAZ of A516-70 steels  
with low HIC-susceptibility

유 호 천\*

포항종합제철주식회사 기술연구소 후판연구팀

### 1. 서론

최근 wet sour gas분위기에서 사용용도가 늘어남에 따라서 균열(crack)저항성을 갖는 HIC resistant pressure vessel용 A516-70강의 수요가 증가하고 있다. Normalizing과 PWHT 처리를 하는 이 강은 용접부의 저온균열감수성지수와 탄소당량이 높기 때문에 용접시에 균열이 발생되기 쉽고 용접부 품질특성을 보증하기 어렵다. 종래에는 C가 0.22%로 대량 함유되어 있어 용접부 저온균열감수성지수가 0.29%가 되거나 혹은 탄소당량이 0.44나 되어 용접예열이 반드시 필요하였다. 특히 두께가 1인치이상의 A516-70강재는 용접예열처리온도가 통상 40-100℃범위에 있는데, 이 강재를 수요가에서 용접시에 예열온도의 불균일로 인하여 용접균열이 발생하는 사례가 자주 발생되어 보수유지비의 증가와 설비사고의 원인이 되고 있는 실정에 있다. 수요가에서는 실제 현장용접작업시에는 예열을 하지 않아도 균열이 발생되지 않는 강재의 사용을 절실히 기대하고 있는 실정에 있으므로 본 연구에서는 예열을 하지 않아도 용접균열이 발생되지 않는 강재생산에 연구목표를 두기로 하였다.

그래서 본 연구에서는 탄소당량과 용접부 저온균열감수성지수에 영향을 미치는 A-516 Gr.70강의 첨가원소들 특히 Cr, Nb, Ti 등에 대한 최적의 제조조건을 연구조사하고 용접방법과 용접입열량의 변화에 따른 용접부 품질특성을 파악하고, 모재와 용접부의 수소유기균열의 원인을 파악하여 내HIC성이 보증된 A516-70강의 생산제조기술을 확립하고 용접시에 예열처리를 하지 않아도 균열이 발생되지 않는 강재를 수요가에게 공급하고자 하였다. 세부적으로는 용접경화성, 용접부저온균열감수성, 내HIC성, 내SSCC성 용접부 충격인성 등에 관한 품질보증이 필수적이다.

### 2. 실험방법

화학성분원소 및 용접입열량변화에 HAZ품질특성을 평가하기 위하여 실험실적으로 진공 용해하여 30kg단위의 강괴로 제조하였으며 화학성분은 Table 1에 종합하였다. 계속하여 강

Table 1. Chemical composition of investigated steels(A516-70)

	Chemical Composition (wt.%)											
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Ca	Al	Nb	Ti
	< 0.23	0.15 -0.40	0.85 -1.2	< 0.035	< 0.035	< 0.40	< 0.40	≤ 0.25	0.0005 0.0040	≥ 0.015	-	-
비교강	0.17	0.33	1.14	0.013	0.004	0.23	0.20	-	0.0008	0.027	-	-
0.20%Cr	0.16	0.35	1.12	0.013	0.006	0.24	0.20	0.20	0.0020	0.022	-	-
0.015%Nb	0.16	0.36	1.13	0.011	0.004	0.24	0.20	-	0.0020	0.022	0.015	-
0.015%Ti	0.17	0.36	1.13	0.012	0.004	0.24	0.20	-	0.0024	0.023	-	0.015
(Nb+Ti)	0.17	0.36	1.13	0.012	0.005	0.24	0.20	-	0.0018	0.019	0.015	0.015
0.030%Ti	0.17	0.36	1.13	0.013	0.005	0.24	0.20	-	0.0019	0.024	-	0.030

V: 0.02% (≤ 0.03%), N<sub>2</sub>: < 0.003%

괴를 1150℃에서 2시간동안 가열(soaking)한 직후, 1130℃에서 압연개시하여, 920℃에서 최종 두께는 15mm로 하여 압연종료하였다. Normalizing 열처리 온도는 890℃, 시간은 40분으로 열처리하였으며 Table 2와 같은 조건으로 용접한 후에 620℃에서 2시간동안 용접후열처리하였다.

Table 2. Welding procedure of investigated steels

	Filler Metal	Current	Voltage	Travel Speed (cm/min.)	Heat input (kJ/cm)
	Class	Amp.	Volt		
SMAW	E7016	170	25	150	17
SAW	F7A2-EH14	700	36	35	43
SAW	F7A2-EH14	800	41	28	70

용접과 후열처리한 시험편에 대하여 용접경화성(최고경도, Taper경도, 절단성) 시험과 용접부 품질특성(경도, 충격인성, SSCC 시험)을 조사하였으며, 시험편의 fusion line에서 1 mm 떨어진 곳에서 1.5mm 깊이의 notch를 낸 시험편을 4point bending 장치로 장착하여 포화 H<sub>2</sub>S 용액 중에서 96시간동안 침지하여 취화시킨 후에 인장시험을 행하여 SSCC 감수성의 척도로 삼았다.

### 3. 연구결과

용접성이 향상된 내 HIC 보증용 A516-70강의 제조기술과 용접부 품질보증기술을 확립하기 위하여 화학성분 원소의 첨가효과 및 용접입열량 변화에 대한 용접성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 최고경도시험결과, 0.20%Cr 첨가강은 상온에서 Hv365, 50℃ 예열에서는 Hv361였으나, 0.015%Nb 첨가강은 상온에서 Hv347, 50℃ 예열에서는 Hv334였다.
- 2) 경사 Y형 균열 시험결과, 0.20%Cr 첨가강은 용접예열온도가 50℃ 이하에서는 균열이 발생하였으나 0.015%Nb 첨가강은 용접예열처리를 생략하여도 균열이 발생되지 않았다.
- 3) 0.015%Nb과 0.015%Ti 첨가강은 무첨가강에 비하여 입계 석출 페라이트 양을 감소시켜 HAZ부 경도와 SSCC성을 증가시켜 주지만 저온 충격인성은 감소시키는 경향이 있다.
- 4) 0.015%Nb 첨가강은 0.015%Ti 첨가강에서보다 HAZ 경도가 높고 충격인성치는 상승하였으나 SSCC Test 후의 인장강도는 높았으나 연신율은 낮았다.
- 5) (0.015%Nb+0.015%Ti) 복합첨가강이나 0.030%Ti 첨가강은 용접열영향부의 경도는 큰 폭으로 상승되나 저온 충격인성의 급락을 가져와 불량하였다.
- 6) 용접입열량이 17kJ/cm인 SMAW 강에서는 43,70kJ/cm인 SAW 강에 비하여 용접열영향부에 페라이트 조직의 석출이 적어 HAZ 경도가 높고 저온 충격인성 및 SSCC성이 높았다.
- 7) 용접열영향부(F.L.+1mm)의 경도, 충격인성 및 SSCC 시험결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Mechanical properties of HAZ(F.L.+1mm) in A516-70

특징	합금원소 변화	경도분포(Hv)		충격인성(kg·m)		SSCC성 T.S·El.
		Coarse	Fine	at -40℃	at -60℃	
비교	0.17%C	178.1	148.7	16.1	13.1	8.59
Cr	+ 0.20%Cr	190.1	156.3	15.8	12.1	9.27
Nb	+ 0.015%Nb	214.0	165.2	14.9	10.5	9.02
Ti	+ 0.015%Ti	190.0	149.0	13.5	8.6	9.22
Nb+Ti	+ 0.015%Nb, Ti	192.6	155.1	10.8	6.5	8.52
고Ti	+ 0.030%Ti	229.1	172.1	6.7	7.4	9.21