

## FCAW에 의한 60kgf/mm<sup>2</sup>급 고장력 압력용기강 및 연강의 초층편면용접시 발생하는 고온균열

### Solidification Cracking in Root Pass for One-side Welding of 60kgf/mm<sup>2</sup> Class Steels for Pressure Vessels Using FCAW

한 일욱\*, 유 덕상\*, 방 한서\*\*, 김 성규\*\*\*, 김 우열\*\*\*, ○박 화순\*\*\*\*

\* 한국알로이로드(주) 용접기술연구소, 경남 창원    \*\* 조선대학교 선박해양공학과, 광주

\*\*\* 부경대학교 생산가공공학과, 부산    \*\*\*\* 부경대학교 재료공학과, 부산

#### 1. 서 론

압력용기강에 대한 플럭스코어드와이어를 적용하였을 경우의 용접성확보에 대한 기초적인 검토로서, 60kgf/mm<sup>2</sup>급 고장력압력용기강 SPPV490을 주대상으로 용접재료와 용접조건을 변화시켜서 편면용접을 하였을 경우에 초층용접부에서 발생하는 고온균열현상을 검토하였다. 또한 본 연구에서는 비교재로서 연강 SWS400과 탄소함유량이 약 0.45%인 중탄소강 SM45C를 일부 병행 사용하였다.

#### 2. 사용재료 및 실험방법

본 연구에서 사용한 모재의 화학조성을 Table 1에 나타내었다. 모재로서는 60kgf/mm<sup>2</sup>급 고장력압력용기강 SPPV490과 용접구조용 연강 SWS400을 사용하였다. 또한 비교재로서 탄소함유량이 약 0.45%인 SM45C를 일부 사용하였다. 모재의 시험편의 두께는 어느 것도 22mm를 사용하였다.

Table 1 Chemical compositions of base metals used

Base metals	Chemical composition, wt.%							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	V
SPPV490*	0.13	0.30	1.41	0.016	0.004	0.14	0.11	0.039
SWS400	0.17	0.33	1.01	0.012	0.007	-	-	-
SM45C	0.44	0.19	0.49	0.021	0.030	-	-	-

\* 910°C quenching and 650°C tempering

용접재료는 모두 티타니아계 플럭스코어드 와이어 4종류(A, B, C 및 D로 표시함)를 사용하였으며, 그 화학조성을 Table 2에 나타내었다. 용접와이어의 직경은 모두 1.2mm의 것을 사용하였다.

Table 2 Typical chemical compositions of undiluted weld metal of flux cored wires welded with CO<sub>2</sub> shield gas

Mark of welding materials	Chemical composition, wt.%							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
A <sup>1</sup>	0.05	0.57	1.02	0.020	0.008	-	-	0.51
B <sup>2</sup>	0.04	0.35	1.10	0.012	0.008	1.0	-	0.22
C <sup>3</sup>	0.05	0.58	0.65	0.020	0.006	-	1.05	0.55
D <sup>4</sup>	0.04	0.61	1.27	0.015	0.010	-	-	-

<sup>1</sup>: KS class D7121 YFM-C, <sup>2</sup>: KS class D7104 YFW-C602R, <sup>3</sup>: KS class D7121 YF1CM-C, <sup>4</sup>: KS class D7104 YFW-C50DR    \*, <sup>2</sup>, <sup>3</sup> and <sup>4</sup>: 1.2mm dia.

시험편은 두께가 22mm이며, 시험편의 중앙에는 간격 4mm와 2mm의 root gap과 face를 가지는 40°각도의 single V형의 그루브를 가공하였다. 그루브의 양단에는 U형의 그루브를 가지는 tab plate를 사용하여, 용접의 시단 및 중단처리를 하였다. 이들 시험편은 그루브의 형상을 유지하기 위하여, U형의 보강판재(구속판재)를 사용하여 시험편의 양단 부분과 중앙부의 세 위치에서 구속용접하였으며, 또한 4mm의 폭을 가지는 세라믹 backing재를 사용하였다.

FCAW는 초충편면용접만을 하였으며, 용접전류는 200, 240 및 280A의 3종류를, 용접속도는 2.8(17), 3.3(20) 및 4.2mm/sec(25cm/min)의 3종류를 사용하였다.

각 조건에 따른 균열감수성은 상기와 같은 과정을 통하여 결정된 균열발생률로서 평가하였다. 이들 균열의 발생률은 균열의 총길이를 실험비드의 총길이(300mm)로 나눈 값의 백분율로서 표시하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

모재의 경도는 SPPV490, SWS400 및 SM45C에서 각각 약 Hv234, 190 및 259를 나타내었다. SPPV490 모재의 미세조직은 상부베이나이트 주체로 되어 있었다. SWS400은 폴리고날 페라이트 층에 검은 밴드상의 펄라이트가 혼재한 조직을 나타내었다. SM45C의 모재는 다량의 펄라이트와 구오스테나이트입계에서 형성된 초석페라이트 조직으로 되어 있었다.

모재 SPPV490에 대하여, 용접전류 240A, 용접속도 4.2mm/sec의 용접조건으로 용접하였을 경우의 A, B 및 C의 3종류의 플럭스코어드 와이어에 의한 용접금속의 미세조직은, 용접재료 A의 경우는, 대부분의 침상페라이트 및 미세립페라이트와 부분적인 페라이트사이드플레이트로 되어 있으며, 경도는 약 Hv285를 나타내었다. 용접재료 B의 경우는, 대부분의 침상 및 미세립페라이트와 일부의 베이나이트로 되어 있으며, 입계페라이트와 페라이트사이드플레이트는 거의 관찰되지 않았다. 이것은 용접재료에 1.0%Ni- 0.22%Mo의 합금성분이 포함되어 있기 때문으로 생각되며, 용접금속의 평균경도는 Hv360으로 비교적 높은 값을 나타내었다. 용접재료 C의 경우는 용접재료 B와 유사한 조직을 나타내었으나, 입계페라이트 및 페라이트사이드플레이트가 많이 관찰되었으며, 용접금속의 평균경도는 Hv290을 나타내었다. 한편 50kgf/mm<sup>2</sup>급 및 연강에 사용되는 용접재료 D의 경우는 용접재료 A의 경우와 유사한 조직을 나타내었으나, 입계페라이트와 페라이트사이드플레이트가 더욱 많이 관찰되는 경향을 보였으며, 응고 입내는 미세립페라이트주체의 미세한 조직으로 되어 있었다. 용접금속의 평균경도는 Hv285정도로 가장 낮은 값을 보였다.

용접금속에서 발생한 균열은 모재 및 용접재료의 종류에 관계없이 용접금속단면의 중앙상부의 표면근방에서 발생하여 내부로 진전하는 경향을 나타내었다. 또한 용접금속상의 종균열이 발생하는 위치는 모재, 용접재료, 용접조건, 균열발생률 등에 관계없이 일정하지는 않았다.

Figure 1에는 표면비드근방의 균열의 파면에 대한 SEM 사진을 나타내었다. 일반적으로 고온산화등으로 인하여, 명확한 형상의 관찰은 곤란하였으나, 비교적 평활하거나 곡선형 요철의 양상을 나타내고 있었으며, 셀상수지상정의 돌기를 나타내는 요철이 관찰되었다. 또 그 표면은 액막이 존재하였다는 것을 나타내는 부드러운곡선의 형태가 관찰되는 전형적인 응고균열의 양상을 나타내었다.

Figure 2는 모재 SPPV490과 SWS400에 대하여, 4종류의 용접와이어를 사용하여 용접전류 240A, 용접속도 4.2mm/sec로 용접하였을 경우의 균열발생률을 나타낸 것이다. 모재 SPPV490의 경우는, 어느 용접재료의 경우에도 고온균열이 발생하였으며, 특히 1.25%Cr-0.5%Mo의 합금원소를 함유하는 용접재료 C의 경우는 약 72%의 높은 발생률을 나타내었다. 모재 SWS400의 경우는 연강 및 50kgf/mm<sup>2</sup>급 고장력강용인 용접재료 D의 경우를 제외하고는 모두 균열이 발생하였으며, 이 경우에도 SPPV490과 마찬가지로 용접재료 C의 경우에서 높은 균열감수성을 나타내었다. 그러나 동일한 용접재료에서 비교하였을 경우에, 전체적으로는 모재 SPPV490에 비하여 균열발생률이 낮은 경향을 보였다.

모재 SPPV490에 대하여, 0.5%Mo를 함유하는 용접재료 A를 사용하였을 경우의 균열발생의 유

무와 용접전류 및 용접속도와의 관계를 Fig. 3에 나타내었다. 그림중의 솔리드마크는 균열이 발생한 경우, 오픈마크는 균열이 발생하지 않은 결과를 나타낸 것이다. 그리고 그림중의 이들 결과로부터 균열발생영역과 균열이 발생하지 않는 영역을 구분하여 표시하였다. 용접전류가 280A인 경우에는 용접속도가 3.3mm/sec이상에서 균열이 발생하고 있으며, 200A에서는 4.2mm/sec의 용접속도에서도 균열은 발생하지 않았다. 즉, 4.2mm/sec로 용접속도가 비교적 빠른 용접속도에서도 용접전류가 200A이하에서는 균열이 발생하지 않는다는 것을 알 수 있다. 한편 용접전류가 280A로 본 연구의 범위내에서는 가장 높은 경우에서도, 2.8mm/sec이하의 용접속도를 사용하면 균열이 발생하지 않음을 알 수 있다.

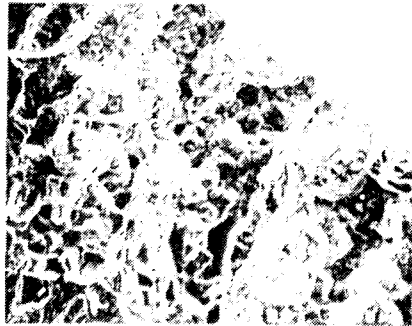


Fig.1 SEM micrograph of fracture surface of longitudinal crack occurred in weld metal

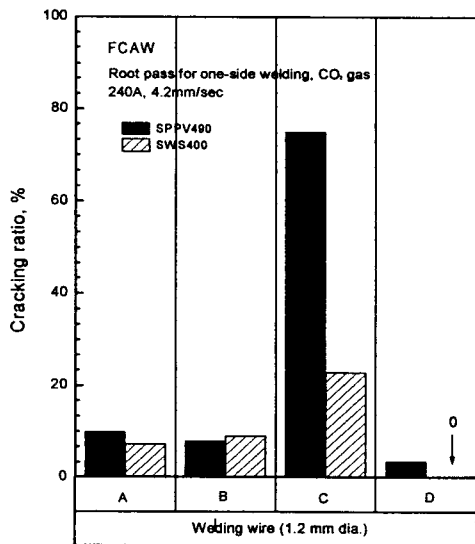


Fig.2 Cracking ratio for case of welding wire A, B, C and D in base metal SPPV490 and SWS400 under welding condition of 240A-4.2mm/sec

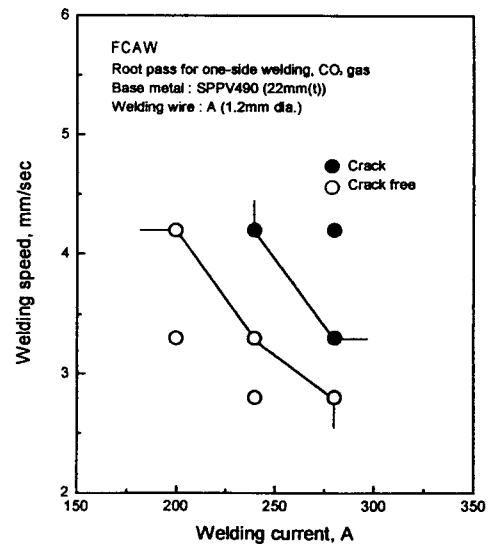


Fig.3 Influence of welding current and welding speed on cracking in welding wire A and base metal SPPV490