

FCAW에 의한 590MPa급 고장력압력용기강의 초층편면용접부에서 발생하는 고온균열

김우열* · 한일욱** · 유덕상** · 방한서*** · 안용식**** · 박화순****

Solidification Cracking in Root Pass for One-side Welding of 590MPa Class Steel for Pressure Vessels by FCAW

W.Y. Kim*, I.W. Han**, D.S. You**, H.S. Bang***, Y.S. Ahn**** and H.S. Park****

Key Words : Solidification cracking(응고균열), One-side welding(편면용접), Root pass(루트패스), Flux-cored arc welding(FCAW, 플럭스코어드 아크 용접), Welding conditions(용접조건), Steel for pressure vessels(압력용기용강)

Abstract

It is well known that solidification cracking often occurs in welds of root pass for one-side welding under the conditions of high welding currents and speeds. In this study, the solidification cracking in 590MPa class steel for pressure vessels SPPV490 was investigated by using flux-cored arc welding(FCAW) with 4 types of welding wires and welding conditions of 200~280A and 2.8~4.2mm/sec. In order to compare the result of cracking in SPPV490, 0.2%C steel for welded structure of SWS400 and 0.45%C steel for machine structural SM45C were also used as base metals.

As the results, all the cracks formed in some welding conditions were observed near the center of weld bead. The solidification cracks were generally initiated near the upper surface of bead and propagated toward the inner part. The solidification cracking generally increased with welding current and welding speed in the same base metal and welding material. In cracking susceptibility, SPPV490 showed higher cracking susceptibility than SWS400 in all welding conditions and welding materials. It was considered that cracking susceptibility could not be evaluated with the hardness of weld metals. The cracking ratio increased with decreasing of a/b (a and b : the width of the upper surface and the back surface of the bead) as shape factor of bead. The cracking tendency with shape factor of bead was extended under the condition of higher welding currents.

※ 1999년 4월 3일 접수

* 정회원, 부경대학교 공과대학 생산가공공학과

** 정회원, (주)세아 ESAB, 용접기술연구소

*** 정회원, 조선대학교 공과대학 선박해양공학과

**** 정회원, 부경대학교 공과대학 재료공학과

박화순 : parkhs@pine.pknu.ac.kr

1. 서 론

근년의 탄산 및 혼합가스 아크용접의 플럭스코어드 와이어의 양적 및 질적인 진전은 실로 주목할만한 일이며, 아크용접재료의 중요한 지위를 점하고 있다. 그 배경으로서는 플럭스코어드와이어의 우수한 용접작업성, 높은 용착속도에 의한 고능률성 및 적용 강종의 확대 등을 들 수 있다. 또한 솔리드와이어를 사용하였던 편면용접(片面熔接)에 대해서도, 플럭스코어드와이어의 채용이 증가하고 있다. 그러나 편면용접시의 초층 용접부에서 고온균열이 종종 발생하는 것이 알려져 있다. 이러한 고온균열은 응고균열에 해당하는 것으로서, 용접전류, 용접속도 등의 용접조건과 피용접물의 그루브의 형상에 크게 의존하는 것으로 알려져 있다¹⁾.

한편 중화학 플랜트의 프로세스는 한층 고온, 고압, 대형화하는 경향을 보이고 있으며, 이러한 압력용기용 강구조물에 있어서의 용접부의 신뢰성확보는 중공업의 발전과 함께 필수적으로 요구되는 중요한 사항이다. 또한 용접부의 신뢰성확보와 함께, 고능률용접에 의한 플랜트의 저코스트화를 고려하였을 경우, 압력용기강구조물에 대한 플럭스코어드와이어의 적용은 경제적인 측면에서 대단히 중요하다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 압력용기강에 대한 플럭스코어드와이어를 적용하였을 경우의 용접성확보에 대한 기초적인 검토로서, 590MPa급 고장력압력용기강

SPPV490을 대상으로 하여 용접재료와 용접조건을 변화시켜 편면용접을 하였을 경우에 발생하는 고온균열현상에 대하여 검토하였다. 또한 본 연구에서는 비교재로서 용접구조용 연강 SWS400과 탄소함유량이 약 0.45%인 기계구조용 중탄소강 SM45C를 일부 병행 사용하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

본 연구에서 사용한 모재의 화학조성을 Table 1에 나타내었다. 모재로서는 590MPa급 고장력압력용기강 SPPV490을 사용하였다. 또한 비교재로서 용접구조용 연강 SWS400과 약 0.45% C를 함유하는 기계구조용강 SM45C를 일부 병행 사용하였다. SPPV490 모재는 910℃에서 퀘칭하고 650℃에서 템퍼링을 하였으며, 인장강도 및 연신율은 각각 662MPa 및 28%, -10℃에서의 충격흡수에너지는 272J이었다.

용접재료는 모두 티타니아계 플럭스코어드와이어 4종류를 사용하였으며, 그 화학조성 및 용착금속의 기계적성질을 Table 2 및 3에 나타내었다. 여기서, A, B 및 C는 590MPa급 이상의 강에 적용되는 것으로, 각각 KS의 D7121 YFM-C, D7104 YFW-C602R 및 D7121 YF1CM-C에 상당한다. 용접재료 D는 KS D7104 YFW-C50DR에 상당하며, 연강 및 490MPa급 고장력강용으로서, 비교재료 사용하였다. 용접와

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	-	-	-

* quenched at 910℃ and tempered at 650℃

Table 2 Typical chemical compositions of undiluted weld metal of flux cored wires welded with CO₂ shield gas

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

*: KS class D7121 YFM-C, *2: KS class D7104 YFW-C602R, *3: KS class D7121 YF1CM-C.

*4: KS class D7104 YFW-C50DR *1, *2, *3 and *4: 1.2mm dia.

Table 3 Typical mechanical properties of undiluted weld metal of flux cored wires welded with CO₂ shield gas

Mark of welding materials	Mechanical properties				
	Y.S., MPa	T.S., MPa	Elongation, %	Impact value, J	
A	560	630	23	43 at 10℃	as welded
	540	610	26	31 at 10℃	as PWHT, 620℃x1hr
B	590	650	26	108 at -20℃	as welded
C	640	720	20		as welded
	600	680	21		as PWHT, 690℃x2hrs
D	520	580	29	108 at 0℃	as welded

이어의 직경은 모두 1.2mm의 것을 사용하였다.

Fig. 1에 시험편의 형상 및 크기를 나타내었다. 시험편은 두께는 22mm이며, 시험편의 중앙에는 루트갭 4mm와 루트페이스 2mm를 가지는 40° 각도의 싱글 V형의 그루브를 가공하였다. 그루브의 양단에는 U형의 그루브를 가지는 tab plate를 사용하였다. 이들 시험편은 그루브의 형상을 유지하기 위하여, U형의 보강판재를 사용하여 시험편의 양단 부분과 중앙부의 세 위치에서 구속용접하였다. 또한 시험편의 이면에는 4mm의 폭을 가지는 세라믹 backing재를 사용하였다.

플럭스코어드 아크(FCA) 용접은 Fig. 1에 나타낸 시험편에 대하여 초충편면용접만을 하였으며, 용접전류는 200, 240 및 280A의 3종류로, 용접속도는 2.8(17), 3.3(20) 및 4.2mm/sec(25cm/min)의 3

종류로 변화시켰다. 용접전류 및 용접속도 이외의 조건은 통상의 표준적인 조건에 의하였는데, CO₂ 실드가스의 유량은 20~25 l/min, 토치의 각도는 약 10°로 하여 후진법에 의하여 스트레이트 비드를 형성시켰다.

초충편면용접부에서 발생한 균열은, 용접종료후 약 1시간이 경과한 후에 비드의 표면에 대한 육안관찰 및 액상침투법에 의하여 균열의 길이를 측정하였으며, 또한 용접선을 10등분한 횡단면에 대하여도 에머리페이퍼로 연마한 후, 현미경관찰에 의한 재측정을 하였다. 이들 균열의 총길이를 실험 용접비드의 총길이(300mm)로 나눈 값의 백분율을 구하여 이를 균열발생률로 하였다.

용접비드의 형상과 균열발생률과의 관계를 검토하기 위하여, 비드의 폭과 용입깊이를 측정하였으며, 이 인자를 Fig. 1의 (b)에 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

SPPV490, SWS400 및 SM45C 모재의 미세조직은, SPPV490은 주로 상부 베이나이트, SWS400은 폴리고날 페라이트 중에 검은 밴드상의 펄라이트가 혼재한 조직을, SM45C에서는 다량의 펄라이트와 프라이어 오스테나이트입계에서 형성된 초석페라이트 조직으로 되어 있었다. 이들 모재의 경도는 SPPV490, SWS400 및 SM45C에서 각각 약 Hv234, 190 및 259를 나타내었다. 한편 용접금속의 미세조직은 주로 대부분의 침상페라이트 및 미세립페라이트와 부분적인 페라이트 사이드 플레이트와 베이나이트로 이루어져 있었으며, 용접금속의 평균경도는 Hv280~360의 범위를 나타내었다.

3.1 균열의 특징

Fig. 2는 모재 SPPV490강의 용접금속에서 발생한

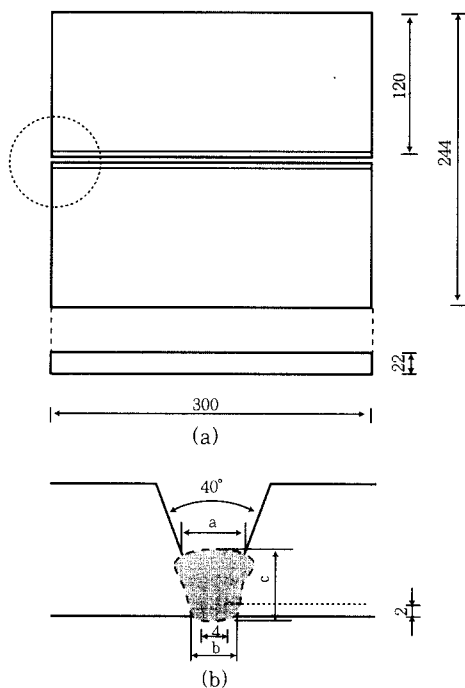


Fig. 1 Configuration of the cracking test specimen

종균열의 일례를 나타낸 것이다. 균열은 비드의 중앙부에서 용접선을 따라 발생하였으며, 모재 및 용접재료의 종류에 관계없이 용접금속단면의 중앙상부의 표면근방에서 발생하여 내부로 진전하는 경향을 나타내었다. 또한 용접선상에서 종균열이 발생하는 위치는 모재, 용접재료, 용접조건, 균열발생률 등에 관계없이 일정하지는 않았다. 이들 균열에 대한 SEM 파면관찰에 의하면, 셀상수지상정의 돌기를 나타내는 전형적인 응고균열의 양상을 나타내었다.

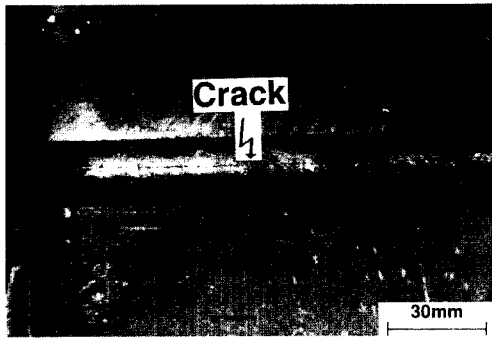


Fig. 2 An example of longitudinal crack formed on the face of weld

Fig. 3 (a) 및 (b)에는 균열발생 직후의 액막의 형태에서 응고한 부분으로 보여지는 균열 상부의 파면사진 및 사진의 파면상에서 조금 어둡게 보이는 부분과 개재물에 대한 EDX 성분분석의 결과를 나타낸 것이다. 이 그림중의 (b)에 나타난 EDX 분석결과에 의하면, Fe의 피크와 함께 Ti, Mn, Si, S 등의 피크가 나타났다. 따라서 이것은 균열이 발생할 때, 액상으로 존재하던 플럭스가 균열의 진전 및 응고의 진행과정에서 함께 응고한 산화물인 것으로 추정되었다. 이러한 산화물 등은 균열의 상부에서는 다량으로 관찰되었으며, 또한 균열의 하부에서는 상부에 비하여 크기가 작은 소량의 산화물들이 관찰되는 경향을 보였다.

일반적으로 티타늄계 플럭스코어드 와이어의 경우, 약 6~8wt.%의 rutile이 포함되어 있으며, 슬래그중에는 Ti계 산화물이 약 30~40% 정도가 포함되어 있다. 또한 Ti는 용접금속중에 수 100ppm 정도가 잔류하여 Mn, Si, K, Na, Al 등과의 복합산화물로서 존재하게 된다. 그러므로 이러한 표면비드부위와 용접금속의 내부, 즉 균열의 하부쪽에서의 복합산화물의 형태의 차이는, 균열의 발생으로 인하여 균열부위에 Ti 성분이 풍부한 용액이 존재하는 상태로 되고, 이것이 응고함으로써 파면상에 나타난 것으로 생각되며, 따라서 액상의 양의 정도 또는 플럭스성분의 용해 정도에 기인하여 나타나는 것으로 생각된다.

Fig. 4에는 모재 SPPV490에 대하여 용접재료 C를 사용하였을 경우의 균열근방의 미세조직의 예를 나타내었다. 균열은 대체로 비드의 상부 표면 근방의 중앙부에서 발생하여 내부로 진전하는 경향을 보였다. 응고조직은 어느 경우에도 셀상 덴드라이트상의 주상정으로 되어 있었다. 이러한 주상정은 대체적으로 비드

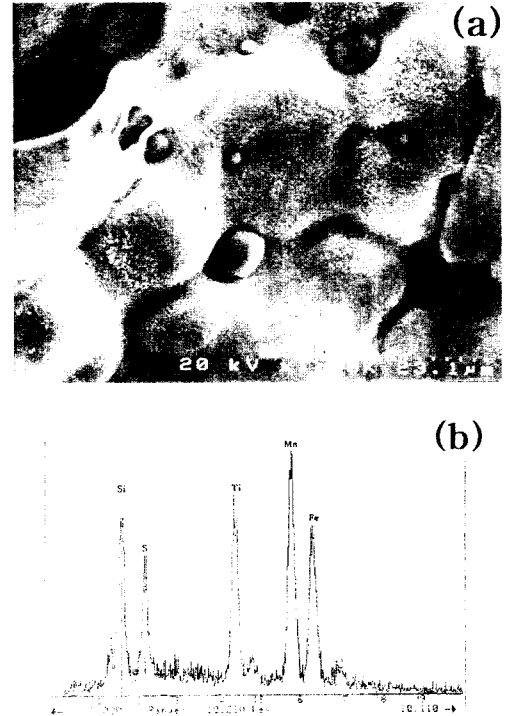


Fig. 3 SEM micrograph of (a) cracking surface near upper part of weld metal and (b) EDX result of inclusions in (a)

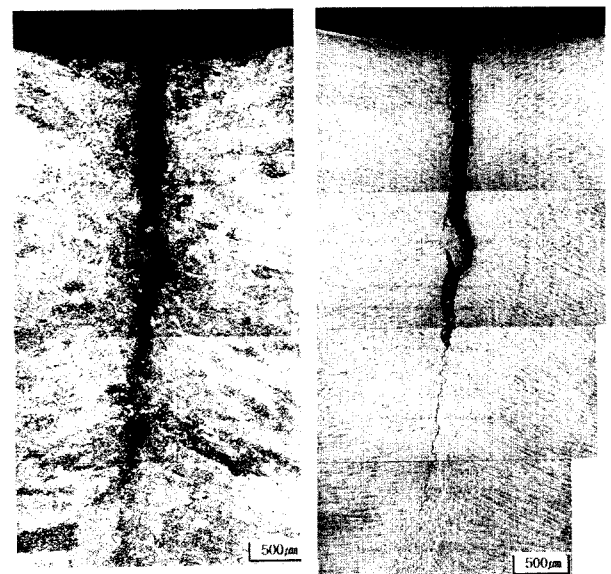


Fig. 4 Microstructure near crack in weld metal of SPPV490 with welding wire C under welding condition of 240A-4.2mm/sec

의 표면 근방에서는 중앙부쪽 또는 약간 아래쪽으로 성장하는 경향을 보였으며, 그 아래 부분에서는 중앙부쪽 또는 약간 상부쪽으로 성장하는 경향을 보였다. 이러한 응고조직에서도 명확히 알 수 있는 바와 같이 편면용접의 초층용접부에서 발생하는 고온균열은 주상정과 주상정이 최종적으로 만나게되는, 즉 응고종료부에 해당되는 비드 표면의 중앙부에서 발생한다는 것을 알 수 있었다. 이러한 균열발생의 경향은 균열이 발생한 전시험편에서 동일하게 관찰되었다.

3.2 균열발생에 미치는 용접전류 및 용접속도의 영향

Fig. 5는 모재 SPPV490과 SWS400에 대하여, 4 종류의 용접와이어를 사용하여 용접전류 240A, 용접속도 4.2mm/sec로 용접하였을 경우의 균열발생률을 나타낸 것이다. 모재 SPPV490의 경우는, 어느 용접재료의 경우에도 고온균열이 발생하였으며, 특히 용접재료 C의 경우는 약 72%의 높은 발생률을 나타내었다. 모재 SWS400에서 연강 및 490MPa급 고장력강 용인 용접재료 D의 경우를 제외하고는 모두 균열이 발생하였으며, 이 경우에도 SPPV490과 마찬가지로 용접재료 C의 경우에서 높은 균열감수성을 나타내었다. 그러나 동일한 용접재료에서 비교하였을 경우에, 전체적으로 모재 SPPV490에 비하여 균열발생률이 낮은 경향을 보였다.

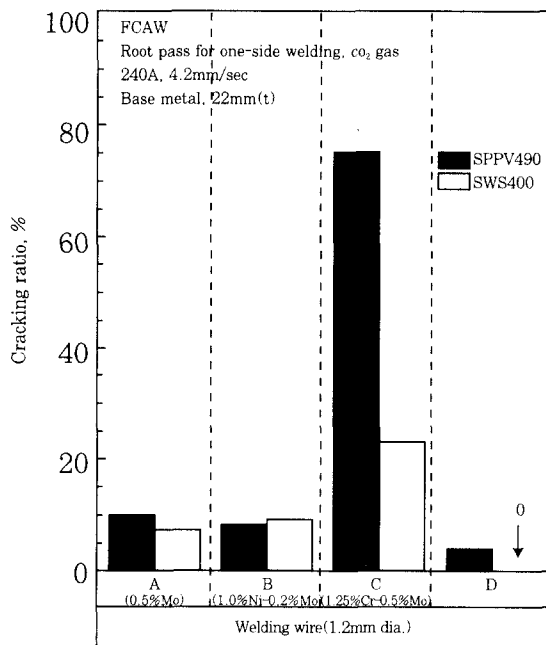


Fig. 5 Comparison of cracking ratios in base metal of SPPV490 and SWS400 under welding condition of 240A-4.2mm/sec with welding wires of A, B, C and D

이러한 모재와 용접재료의 종류에 따른 균열발생률의 차이, 모재의 강도, 용접금속의 화학조성, 용접부의 형상 등의 차이에 기인하는 것으로 생각된다. 일반적으로 초층편면용접시에 발생하는 고온균열에 영향을 미치는 인자로서는, 용접조건, 그루브의 형상, 모재의 두께 및 강종, 그리고 구속도 등을 들 수 있다. 이들 제인자들 중에서 그 영향이 비교적 큰 것으로는 용접조건과 구속도를 들 수 있으며, 그리고 그루브의 형상 및 강종에 대한 영향은 상대적으로 적은 편이다. 그러므로 본 연구결과의 경우에는 용접조건과 그루브의 형상 및 크기가 일정하기 때문에, 모재의 강도, 용접금속의 형상, 용접금속의 화학조성 등의 영향에 의하여 균열발생률에 차이를 보인 것으로 생각된다. 모재강도의 관점에서 보았을 때는 SWS400에 비하여 상대적으로 강도가 높은 SPPV490이 대체적으로 높은 균열발생률을 나타내었다. 이러한 경향은 본 연구에서 사용한 3종류의 모재에 대하여 동일한 용접재료를 사용하여 동일한 용접조건으로 용접하였을 경우에 균열발생률은 SM45C에서 가장 크게 나타나는 것으로 확인할 수 있었다. 이것은 모재의 강도와 균열발생에 어느 정도의 상관성이 있다는 것을 의미하고 있다. 그리고 이러한 모재강도의 영향은, 타 용접재료에 비하여 균열발생률이 높았던 용접재료 C의 경우에 그 차이가 더욱 현저하게 나타남을 알 수 있다. 일반적으로 응고균열은 재료의 응고중에 발생하는 저연성특성과 용접중에 발생하는 변형거동과의 복합에 의하여 발생한다²⁾. 즉 용접중의 응고시 또는 고온에서의 변위곡선이 한계연성곡선과 교차하거나, 재료의 응고연성특성상 한계연성곡선이 넓을 경우, 즉 한계변위차가 적을 경우에 잘 발생한다. 본 결과에서는 용접조건과 시험편의 형상이 일정하기 때문에 용접중에 발생하는 변위의 양이 일정하다고 가정하면, 주로 용접재료의 차이에 따른 응고연성특성의 차이가 균열발생률에 영향을 미쳤다는 것을 의미하고 있다.

모재 SPPV490에 대하여, 0.5%Mo를 함유한 용접재료 A를 사용하였을 경우, 각 용접속도에서의 용접전류의 변화에 따른 균열발생률과의 관계를 Fig. 6에 나타내었다. 용접속도가 2.8mm/sec의 경우는 용접전류가 240 및 280A에서도 균열이 발생하지 않았다. 그리고 용접속도가 4.2mm/sec로 본 연구의 범위내에서는 가장 빠른 경우에는 용접전류 240 및 280A에서 균열이 발생하였으며, 280A에서는 약 47%의 높은 균열발생률을 나타내었다. 즉 동일 용접속도에서는 용접전류가 증가할수록 균열감수성이 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 용접전류가 상대적으로 높은 경우에도 용접속도가 느르면, 균열발생률이 감소하는 경향을

나타내었다. 한편 타 용접재료에 비하여 상대적으로 높은 균열발생률을 나타내었던 용접재료 C를 사용하였을 경우의 균열발생률과 용접전류 및 용접속도와의 관계에서도 Fig. 6에 나타난 용접재료 A의 경우와 유사한 경향을 보였다.

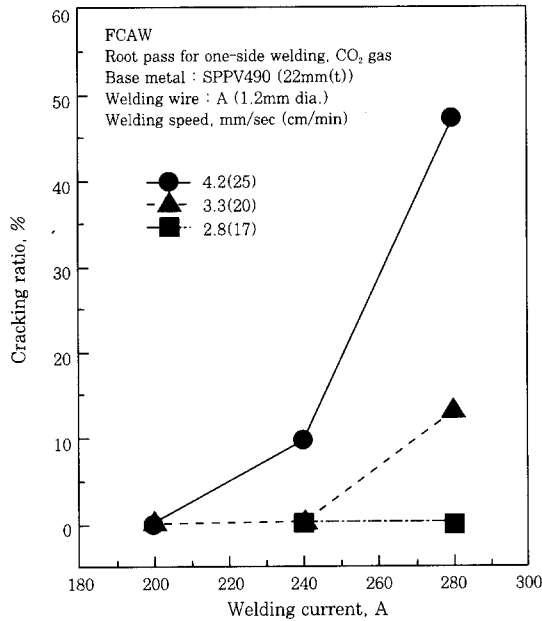


Fig. 6 Influence of welding current and welding speed on cracking ratio in weld metal of wire A

모재 SPPV490에 대하여 용접재료 A와 C로 용접하였을 경우의 균열발생의 여부와 용접전류 및 용접속도와의 관계를 Fig. 7에 나타내었다. 용접재료 A의 경우, 용접전류가 280A인 경우에는 용접속도가 3.3mm/sec 이상에서 균열이 발생하고 있으며, 200A에서는 4.2mm/sec의 용접속도에서도 균열은 발생하지 않았다. 즉, 4.2mm/sec로 용접속도가 비교적 빠른 용접속도에서도 용접전류가 200A 이하에서는 균열이 발생하지 않는다는 것을 알 수 있다. 한편 용접전류가 280A로 본 연구의 범위내에서는 가장 높은 경우에서도, 2.8mm/sec 이하의 용접속도에서는 균열이 발생하지 않았다. 용접재료 C의 경우는, 용접전류 280A에서는 2.7mm/sec에서도 균열이 발생하였으며, 240A에서도 3.3mm/sec에서 균열이 발생하였다. 즉, 용접재료 A의 결과와 비교하여 볼 때, 용접재료 C의 경우는 용접재료 A에 비하여 고온균열감수성에 미치는 용접전류 및 속도의 영향이 더욱 크다는 것을 알 수 있다.

한편 SWS400에 대하여, 용접재료 A와 C를 사용하였을 경우의 균열발생의 여부와 용접전류 및 용접속도와의 관계는, 상기한 SPPV490과 대체로 유사한 경향을 나타내었다. 단, 용접재료 A의 경우는 SWS400의

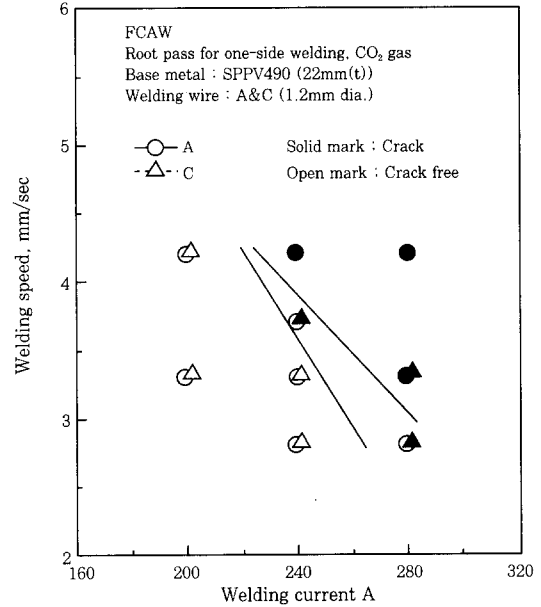


Fig. 7 Influence of welding current and welding speed on cracking in weld metal of wire A and C

경우가 SPPV490에 비하여 용접전류 및 속도의 영향이 약간 작게 나타나는 경향을 보였다.

용접금속의 화학조성은 용접재료와 모재의 화학조성에 의한 것으로, 주로 용접재료의 화학조성에 크게 의존한다. 전술한 바와 같이, 초층편면용접시에 발생하는 고온균열에는 용접금속의 화학조성이 영향을 미치는 중요한 인자가 됨을 확인할 수 있었다. 그러므로 용접금속의 화학조성의 변화에 따른 균열감수성의 변화를 검토하기 위하여, 상온에서의 용접금속의 평균경도와 균열발생률과의 관계를 검토하여 보았다. 또한 모재의 경도와 균열발생률과의 관계도 동일하게 검토하였다.

모재 SPPV490, SWS400 및 SM45C에 대하여 전(全)용접재료 및 전(全)용접조건에 의한 용접금속의 평균경도와 균열발생률과의 관계를 검토한 결과에 의하면, 동일한 경도값에도 균열이 발생하지 않는 경우와 균열발생률이 대단히 큰 경우가 상존하였다. 즉 균열발생률과 용접금속의 경도와의 사이에는 상관성을 보이지 않았다. 그러므로 초층편면용접에서의 고온균열감수성은 화학조성과 냉각속도에 의하여 결정되는 용접금속의 경도만으로는 평가할 수 없는 것으로 생각된다. 한편 모재의 경도와 균열발생률에 대한 결과에 의하면, 동일 용접조건의 경우에는 모재의 경도가 높은 쪽이 균열발생률이 약간 높게 나타나는 경향을 보였으며, 또한 균열감수성이 높은 경우에서 그 정도가 더욱 크게 나타났다. 그러나 이러한 경향은 본 연구의 범위내에서는 비교적 적은 것으로 판단되었다.

3.3 균열발생과 용접금속의 형상과의 관계

용접금속에서 발생하는 고온균열은 용접비드의 형상과도 관련이 있는 것으로 일반적으로 알려져 있다²⁻⁵⁾. 이것은 본 연구에서 관찰되는 고온균열과 유사하게 비드단면의 응고형태, 특히 중앙부근의 주상정의 집합상태와 크게 관련되어 있는 것으로, 일반적으로 균열은 그루브의 양측으로부터 성장한 주상정이 서로 만나게 되는 비드중앙의 경계면에서 잘 발생한다. 이 부분은 최종응고부에 해당하기 때문에 저융점의 불순물이 다량으로 집적될 수 있는 부분이며, 또 양측으로부터의 수축이 집중하는 위치이기도 하다. 이러한 형상과 균열발생과의 관계는 용접전류의 크기에 따라서 변화하며, 그루브의 형상에도 영향을 받는다. 그리고 FCAW의 경우는 와이어의 종류에 따라서도 어느 정도 달라질 것으로 예상된다. 본 연구에서는 용접조건에 따른 비드의 형상 변화는 초층편면용접을 하였을 경우에 형성되는 표면비드의 폭 a와 이면비드의 폭 b 및 비드의 깊이 c를 단독 또는 복합적으로 사용하여 균열발생과의 관계를 검토하였다.

용접조건과 용접금속의 형상과의 관계는, 동일한 용접전류의 경우, 용접속도의 증가에 따라서 a/b 및 c의 값이 감소하는 경향을 보였다. 즉, 동일한 용접전류에서 용접속도가 증가할수록 c값의 감소와 함께 a의 값은 감소하고, b의 값은 증가하는 경향을 보였다. 한편 동일한 용접조건이라 하더라도 용접재료의 종류에 따

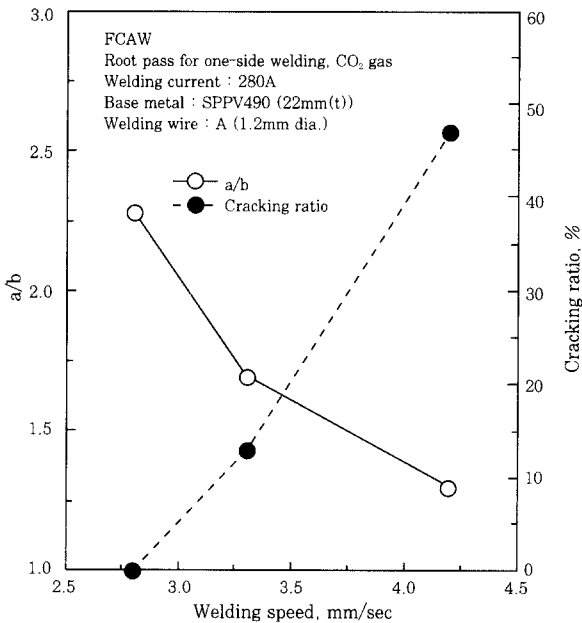


Fig. 8 Relation between a/b(a: width of upper part of bead surface in weld metal, b: width of penetration bead) and cracking ratio in condition of various welding speeds

라서 a, b 및 c의 값은 약간의 변화를 보였는데, 이것은 용접와이어 각각의 특성, 즉 플럭스의 차이에 의한 슬래그 형성량의 차이 등에 기인하는 것으로 생각된다. 그러나 그 정도는 대체로 적었으며, 무시할 수 있을 정도로 판단되었다. 모재 SPPV490에 대하여, 용접재료 A를 사용하여 용접하였을 경우의 시험편의 a/b의 값과 균열발생률과의 관계를 Fig. 8에 나타내었다. 이 결과에 의하면, 전체적으로 a/b의 값이 감소할수록, 즉 이면비드의 폭이 증가할수록 균열발생률이 증가하는 경향을 나타내었다.

또한 이러한 상관성의 정도는 Fig. 9에 나타내는 바와 같이, 용접전류, 즉 입열량에 따라서 변화하는 결과를 나타내었다. a/b의 값이 동일하더라도 용접전류가 높은 쪽이 균열발생률이 큰 결과를 보였다. 즉, a/b의 값이 증가할수록 균열발생률이 저하하는 정도는 용접전류의 값이 클수록 더욱 현저하게 나타나는 경향을 보였다. a/b의 값과 균열발생률과의 관계는, 용접재료 C를 사용한 경우에서도 유사한 경향을 나타내었다.

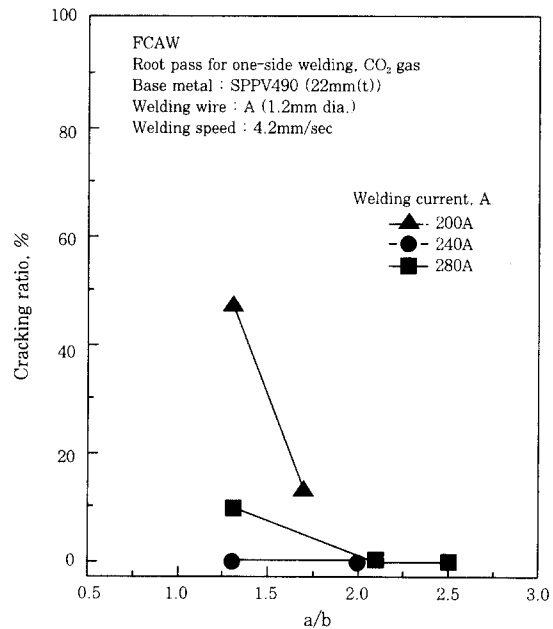


Fig. 9 Relation between a/b(a: width of upper part of bead surface in weld metal, b: width of penetration bead) and cracking ratio in condition of various welding currents

4. 결 론

압력용기강의 용접에 플럭스 코어드 와이어를 적용하였을 경우의 용접성확보에 대한 기초적인 검토로서, 590MPa급 고장력압력용기강 SPPV490과 비교재료로서의 용접구조용 연강 SWS400을 주대상으로하여, 용접재료와 용접조건에 따른 FCAW 초층편면

용접시의 고온균열의 발생현상에 대하여 검토하였다. 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 초층편면용접부에서 발생한 균열은, 모재 및 용접재료의 종류에 관계없이, 표면비드의 중앙부에서 용접선을 따라 발생하는 전형적인 종균열이었으며, 용접금속의 중앙상부의 표면근방에서 발생하여 내부로 진전하는 경향을 나타내었다.

(2) 초층편면용접부의 용접금속에서 발생한 균열의 파면은 전형적인 응고균열의 양상을 나타내었다. 또한 파면상에는 산화물인 것으로 추정되는 대소의 개재물이 많이 관찰되었는데, 이러한 산화물은 균열의 상부에서는 상대적으로 그 양이 많고 크기가 컸으며, 하부에서는 그 양이 적고 미세한 것들이 관찰되었다.

(3) 균열발생률로 평가한 초층편면용접금속의 균열감수성은 모재의 종류에 관계없이 용접전류의 값이 증가할수록, 또한 용접속도가 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. 이러한 응고균열감수성은 모재의 강도가 높을수록, 또한 용접재료 자체의 강도가 높을수록 높게 나타났다.

(4) 초층편면용접에서의 고온균열감수성은, 모재의 경도는 균열발생률과 어느 정도의 상관성은 보이고 있었으나, 그 영향은 본 연구의 범위내에서는 비교적 적

게 나타났다.

(5) 용접금속의 형상인자로서 (표면비드의 폭, a /이면 비드의 폭, b)와 비드의 깊이 c 를 사용하여 균열발생률과의 관계를 검토한 결과에 의하면, a/b 와 c 의 값이 감소할수록 균열발생률이 증가하였으며, 이러한 경향은 용접전류의 값이 클수록 더욱 현저하게 나타났다.

후 기

본 연구는 (株) 세아 ESAB의 연구비지원에 의하여 수행되었습니다. 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 日本溶接協會編: フラックス入りワイヤの實踐 (1994), 産報出版
2. 佐藤邦彦編: 溶接強度ハンドブック (1988), 理工學社
3. 溶接學會編: 溶接·接合便覽 (1990), 丸善(株)
4. J.F. Lancaster: Metallurgy of Welding -Third Ed.- (1980), George Allen & Unwin LTD
5. 日本溶接協會 溶接棒部會編: マグ・ミグ溶接の缺陷と防止對策 (1991), 産報出版