

용접이음부 형상이 용접부의 강도에 미치는 영향

Effect of Joint Configuration on Strength of Weldment

김 응 준*

*한국기계연구원 용접기술연구부

1. 서 론

압력용기 용접부의 설계, 특히 맞대기 용접이음의 설계시에는 기본적으로 주의하여야 할 몇가지의 사항이 있으나 직접시공과 관련된 사항으로는 그루브 형상과 그에 따른 용접조건을 들 수 있다. 특히 동일 재료로 용접을 하는 경우에는 그루브 형상과 용접조건은 이음부의 강도에는 물론 용접시공의 작업성과 경제성에 지대한 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 현재 국내 화학 플랜트 장치 설비 제작시 흔히 사용되고 있는 판두께 10mm 전후의 스테인레스 강판의 맞대기 용접이음의 설계가 대부분 V 그루브로 이루어지고 있는 사실에 주목, 그루브 형상을 변경시킨 경우의 각 그루브 형상과 이에 따른 용접조건이 용접이음부의 강도에 어떠한 영향을 미치는가에 대하여 보수용접 시공과 관련시켜 검토하였다.

2. 실험방법

본 연구에서 사용한 재료는 판두께가 각각 12mm 인 STS 304와 STS 316L의 스테인레스 강판으로 각 강판의 화학조성과 기계적 성질을 표 1에 나타내었다.

그림 1에 용접이음부의 강도를 검토하기 위하여 대상으로 선정한 그루브 형상을 나타내었다. 또한 각 그루브 형상의 용접시편에 대하여서는 용접을 완료한 후 용접지단부에 크랙상의 결함이 발생한 것으로 가정, 용접지단부의 일정길이를 그림 2와 같이 기계가공에 의하여 제거한 후 다시 용접하는 보수용접을 수행하였다. 이 때 각 시험편의 그루브형상 및 용접조건은 STS 304, STS 316L 어느 재료에 있어서도 동일하게 하였다. 표 2에 각 그루브 형상의 용접시편에 대한 본용접 및 보수용접의 용접조건을 나타내었다. 보수용접은 그랙상의 결함의 크기를 2 종류로 가정하여 그림 2에서 보인 3mm 깊이의 결함에 대하여서는 TIG 용접, 5mm의 결함에 대하여서는 SMAW를 적용하였다. 용접이 완료된 용접시편으로부터 그림 3에서와 같은 인장시험편과 피로시험편을 기계가공에 의하여 제작하였다. 이 때 용접부의 덧살은 실구조물의 제작완료 상태를 고려하여 제거하지 않았다.

3. 실험결과 및 고찰

표 3은 STS 304와 STS 316L의 모재 및 각 그루브 형상의 용접시편의 본용접 및 보수용접부로부터 채취한 인장시험편에 의한 인장시험의 결과이다. 각각의 용접부에 대한 인장시험의 결과는 용접이음부의 인장강도의 값이 STS 304, STS 316L 어느 재료의 경우에 있어서도 비슷한 경향을 나타내고 있다. 즉, 본용접 시험편의 경우에는 V 그루브와 비교해서 Y 그루브의 인장강도가 낮은 값을 나타내고 있으며 다시 Y 그루브와 I 그루브를 비교하면 I 그루브쪽의 인장강도가 높은 값을 나타내고 있다. 또한 본용접 시험편과 보수용접 시험편의 인장시험 결과를 비교하면

V 그루브에서는 본용접 시험편이 높은 값을 나타내고 있으나 Y 그루브와 I 그루브에 있어서는 V 그루브와 정반대의 경향을 나타내고 있다. 이와 같은 실험결과를 파단면의 위치와 관련시켜 검토하였다.

인장시험시 본용접 시험편은 물론 보수용접 시험편의 경우에 있어서도 시험편의 파단은 대부분 당초의 용접지단부와 열영향부 부근에서 발생하였다. 먼저 본용접 시험편의 경우, V 그루브가 Y 그루브 보다 높은 값을 갖는 것은 V 그루브 시험편의 경우 그루브 형상과 용접방법으로부터 파단면이 용접부 표면 지단부 부근의 작은 면적의 열영향부를 포함하나 Y 그루브 시험편의 경우는 파단면의 대부분이 열영향부인 때문이다. 또한 Y 그루브와 I 그루브의 실험결과에서 두 경우 모두 파단면의 대부분이 열영향부 임에도 불구하고 I 그루브쪽의 인장강도가 높은 것은 용접열영향부 부근에서의 모재와 모재보다 낮은 인장강도의 값을 갖는 용착금속의 회석의 정도가 그루브 형상으로부터 I 그루브가 적기 때문인 것으로 추정된다. 또한 본용접 시험편과 보수용접 시험편의 인장시험 결과에서 나타난 현상은 V 그루브의 경우 본용접을 완료한 상태에서 용접부 표면의 열영향부, 즉 파단이 일어난 위치에 모재보다 강도가 낮은 용착금속이 놓인 상태에서 기인한 것이며 Y 그루브와 I 그루브에서는 용접금속이 부근 열영향부에 대하여 temper bead¹⁾의 효과를 나타낸 것으로 추정된다.

그림 4는 STS 304와 STS 316L 용접시험편에 대한 피로시험의 결과를 S-N Curve로 나타낸 것이다. 용접시험편은 어느 경우에도 최종파단은 용접지단부에서 발생하였으며 모재와 비교해서 본용접 및 보수용접시험편의 경우가 전반적으로 빠른 파단을 보였고, 본용접 시험편의 경우가 보수용접 시험편보다 수명이 긴 것으로 나타났다. 여기서 용접시험편이 모재보다 빠른 파단을 보인 것은 용접부의 덧살에 의한 형상적 불연속과 용접입열에 의한 Bond부의 취화, 용접부 근방의 인장 잔류응력의 존재 등의 영향이 복합적으로 작용한 것으로 보인다.

본용접 시험편과 보수용접 시험편은 어느 시험편에 있어서도 Y 그루브, V 그루브, I 그루브의 순서로 수명이 긴 것으로 나타났다. 이러한 결과는 표 2에서 보인 바와 같이 본용접과 보수용접에 따른 total 입열량이 Y 그루브, V 그루브, I 그루브 순으로 되어 있는 것과 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

화학플랜트 장치설비용 압력용기 제작에 사용되는 스테인레스 강판을 이용하여 맞대기 용접이음의 그루브 형상의 변화에 따른 용접부의 강도를 보수용접시공과 관련시켜 검토하였다. 인장시험의 결과에 의하면 I 그루브 용접이음부가 가장 높은 인장강도의 값을 나타내었지만 피로시험에서는 I 그루브 용접이음부의 수명이 가장 짧은 결과를 나타내었다. 따라서 실험에 사용한 재료의 맞대기 용접시 그루브 형상의 결정에는 구조물의 사용목적이 우선적으로 고려되어야 할 것으로 사료된다.

※ 참고문헌

1) 河村 ; 溶接技術, 22-10(1974), 15

표 1. STS 304, STS 316L 재료의 화학조성과 기계적 성질

	Chemical composition (wt %)										
	C	S	P	Mn	Si	Ti	Mo	Cr	Ni	Co	N
STS 304	0.045	0.04	0.0132	1.64	0.42	-	-	18.27	8.01	0.030	0.363
STS 316L	0.020	0.006	0.023	1.55	0.63	-	2.04	16.49	10.15	0.041	0.0342

	Mechanical properties		
	Yield stress (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%) (G.L.=50mm)
STS 304	318	654	58
STS 316L	314	599	57

표 2. 본용접 및 보수용접의 용접조건

Joint conf.	Process	전류(A)	전압(V)	용접속도(cm/min.)
V groove	1.SMAW	65		
	2.SMAW	100	26	20
	3.SAW	500	34	60
	4.SAW	500	36	65
Y groove	1.SAW	550	35	60
	2.SAW	600	35	55
I groove	1.SAW	700	35	55
	2.SAW	750	35	55
repair (TIG)	1.TIG	120		
	repair (SMAW)	1.SMAW	90	26
	2.SMAW	90	26	

표 3. 용접시험편의 인장시험 결과

	Tensile strength (MPa)	
	STS 304	STS 316L
Base material	657.58	596.64
V groove	651.21	587.02
V groove repair (TIG)	639.76	586.53
V groove repair (SMAW)	641.90	581.63
Y groove	643.86	579.18
Y groove repair (TIG)	649.25	594.86
Y groove repair (SMAW)	654.64	591.43
I groove	654.15	594.37
I groove repair (TIG)	660.52	594.37
I groove repair (SMAW)	660.52	596.33

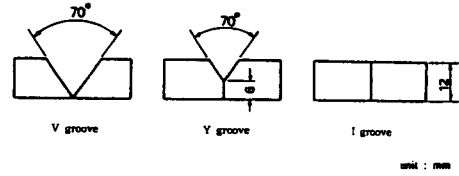


그림 1. 용접부의 groove 형상

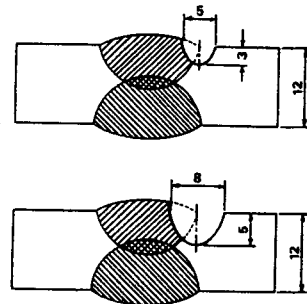
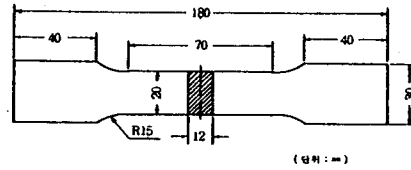
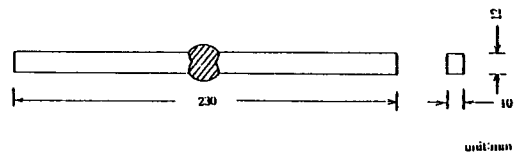


그림 2. 보수용접의 용접부 단면

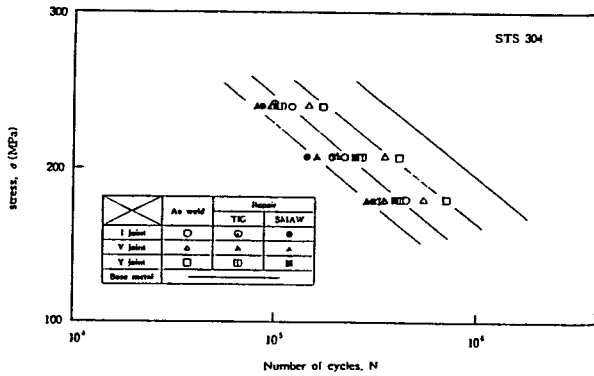


(a) 인장시험편

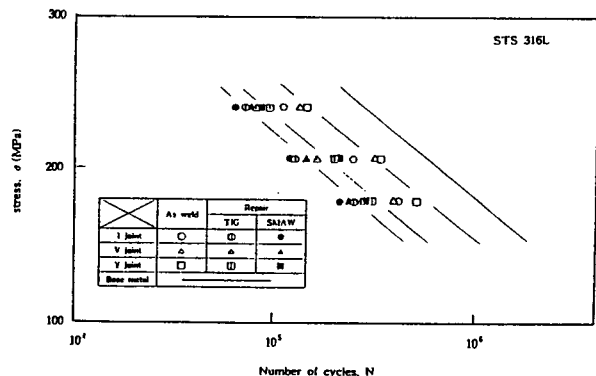


(b) 피로시험편

그림 3. 시험편 형상



(a) STS 304



(b) STS 316L

그림 4. STS 304, STS 316L의 모재 및 보수용접부의 S-N 선도