

맞대기 용접이음부의 홈형상이 강도에 미치는 영향에 관한 연구

A Study on the Effect of Groove Type on the Strength of Butt Welded Joint

부산대학교 강성원
(주)현대자동차 양철성
부산대학교 대학원 신용택*

1. 서론

최근 용접기술의 발달로 인하여 원자료를 위시한 석유 플랜트, 해상 구조물, 발전 설비, 자동차, 교량, 선박등에 용접은 다양하게 이용되고 있다. 또한 용접구조물들이 대형화 되어지고 있음에 따라 각종 강판의 두께도 점점 후판화 되어지고 있다. 용접 구조물의 강판이 두꺼워 질수록 용접이음부의 형상 및 치수가 커지므로 multi-layer multi-pass의 용접이 필연적이고, 대입열 효과에 의하여 용접 이음부의 강도 저하, 생산성의 저하 및 생산 원가를 높이고 있어서 신뢰성있고 경제성있는 용접 구조물의 설계가 대단히 중요한 문제점으로 대두되고 있다.

특히 동질의 용접 재료를 사용한 이음재라도 용접 이음부의 홈형상은 이음부의 강도 및 잔류응력과 변형에 영향을 준다.

따라서 본 연구에서는 연강재에 대하여 맞대기 용접 이음재를 제작하여 각종 강도 시험을 실시하고 용접이음부의 홈각도가 강도에 미치는 영향을 조사하여 최적 홈형상을 제시하고자 한다.

2. 시험 및 시험방법

2.1 용접이음재 제작

일반구조용 압연강재 SS41을 용접완료시 수축 및 팽창의 영향을 받지 않는 크기인 폭 500mm 길이 700mm크기로 하고 두께는 10mm, 20mm, 30mm 강판을 채용하였다. 홈각도는 각종 규칙을 참고하여 최대각은70°, 최소각은 작업조건을 고려하여 40°로 기계가공한 후 용접변형이 발생하지 않도록 역변형을 시키고 용접이음재 뒷면에 고정지그를 설치하였다. 초층은 퍼복아크용접(E7016)을 실시하였고 그 후 용접와이어(EH14)와 용재(F7A2)로 다층 서브머지드 아크용접을 실시하였다. 모재 및 용착금속의 화학성분 및 기계적 성질은 Table. 1에 나타내었다.

또 각종 강도시험에 앞서 용접이음부의 외관형상이 미치는 영향을 조사하기 위하여 용접이 완료된 용접이음재의 비드의 외관형상을 실리콘 고무로 인상하여 본을 뜨고 20배 확대경으로 비드의 형상을 측정하였다.

2.2 각종시험편

용접이음재에서 KR 규정에 의거하여 용접시점과 종단점에서 각 50mm씩을 삭제한 후 인장시험

편은 KR 규정(R2A호)에 의해 각 용접이음재마다 표면 비드를 제거한 시험편과 비드를 제거하지 않은 시험편 각각 2개를 제작하였고, 굽힘시험편은 10mm에 대해서는 KR 규정 RB1호에 의거하여 앞면굽힘과 뒷면굽힘시험편 각각 1개씩, 20mm 및 30mm에 대해서는 KR 규정 RB2호에 의거하여 측면굽힘시험편을 각각 2개씩 제작하였다. 충격시험편은 각 용접이음재에 대하여 KR 규정 R4호에 의거하여 용착금속부 6개, HAZ부 6개씩 총12개를 제작하였고, 또 피로시험편은 용접이음부를 중심으로 평행부를 갖는 인장피로시험 시험편을 각 두께마다 16개를 제작하였다.

2.3 시험방법

2.3.1 인장시험

용접이음재의 표면 덧살을 제거한 시험편 1개는 용착금속부에 20% 변형률을 측정할 수 있는 gage length 6mm 대변형 스트레인 게이지를 부착하고 HAZ부에는 10% 변형률까지 측정할 수 있는 gage length 2mm 대변형 스트레인 게이지를 부착한 후 인장시험을 실시하였다.

표면 덧살을 제거하지 않은 시험편 2개는 토우부에서 2mm떨어진 지점에 표점거리 1mm인 스트레인 게이지를 부착하고, 용착금속부 및 열영향부에는 표점거리 5mm인 스트레인 게이지를 부착하여 항복점, 인장강도, 연신율, 단면수축률 및 용착금속부와 HAZ부의 변형을 특성을 조사하였다. 또 두 시험편의 강도 및 변형률도 비교 검토하였다.

2.3.2 굽힘시험

용량 50ton 만능시험기에 롤러굽힘시험용 지그를 사용하여 굽힘각이 113°가 되게 굽힘시험을 실시하였다. 두께 10mm 이음재는 뒷면굽힘 시험편, 두께20mm 및 30mm 이음재에는 측면굽힘시험편 각각 1개에 용착금속부 및 열영향부에 스트레인 게이지를 부착하여 변형률도 측정하였다.

2.3.3 충격시험

각 충격시험편은 널리 사용되는 2mm V 노치표준시험편을 -20℃에서 10분간 유지한 후 용량 293J 충격속도 5.28m/sec인 샤르피 충격시험기를 사용하여 용착금속부 및 HAZ부에 대한 충격시험을 실시하여 충격치를 측정하였다.

2.3.4 피로 시험

피로시험방법은 하중제어(응력제어)편진 피로시험법을 사용하였으며 응력비 R=0.1이 되도록 최대하중과 최저하중을 조정하였다. 하중파형은 sine파 하중으로 하였고, 반복속도는 2Hz로 하였다.

피로시험도중에 계속해서 이동 현미경으로 토우부를 관찰하여 피로균열 발생위치 및 반복수등을 조사하고 피로균열 전파모양을 관찰하였다.

피로균열발생수명 N_c 는 표면에서 피로균열의 길이가 0.5mm인 경우의 반복수를 취했으며, 파단수명 N_f 는 완전파단되어 시험편이 분리되었을때의 반복수를 취하였다.

3. 시험결과

3.1 인장시험결과

인장시험결과는 Table 2에 나타내었다. 모든 이음재에서의 파단은 용접열영향부를 약간 벗어난 지점에서 발생하였으며, 덧살을 제거하지 않은 용접이음재에 대한 인장시험결과는 사용모재의 인장강도 특성과 일치하였다. 덧살을 제거한 시험편은 모재의 인장강도보다 약간 크게 나왔으며, 파단사까지의 용착금속의 변형도 매우 적었다. 열영향부의 변형도 파단위치에 인접한 부위는 비교적 큰 변형이 발생하였으나, 반대측 열영향부는 큰 변형이 발생하지 않았다. 항복점과 연신율이

적은 이유는 용착금속의 강성이 크고 파단시 모재에서 급격한 변형이 일어나기 때문이라고 생각된다. Fig. 1, Fig. 2에서는 시험편의 응력-변형률관계를 보여주고 있다. Fig. 1을 보면 덧살을 제거하지 않았을 때 토우부에서는 처음부터 응력집중으로 열영향부보다 큰 변형률값을 나타내고 있다. Fig. 2에서는 열영향부가 용착금속부보다 낮은 응력에서 항복이 발생됨을 보여주고 있다. 이것은 열영향부에서 열사이클의 반복으로 인해 용착금속부보다 연화되었기 때문으로 생각된다.

본 시험계에 대한 인장시험 결과는 덧살의 유무에 관계없이 홈각도의 차이에 따른 인장강도의 차이는 없다고 볼 수 있었다.

3.2 굽힘시험결과

굽힘시험의 목적은 규정치수로 굽혔을 때 용착금속 또는 열영향부등에서 균열의 발생여부를 조사하는 것인데, 본 시험에서는 모든 시험편에 대하여 균열발생이 없어서 아주 양호한 굽힘강도를 갖고 있었으며, 따라서 용입상태 및 용착방법등이 양호하였음을 알 수 있다. 또 하중-변형률선도는 Fig. 3에 나타내었는데 홈각도에 상관없이 탄성한계내에서는 용착금속부 및 열영향부의 변형률의 차이가 없었음을 알 수 있었다. 본 시험의 범위에서는 홈각도 차이가 굽힘강도에는 무관함을 알 수 있었다.

3.3 충격시험결과

충격시험의 결과는 Table 3에 나타내었다. 30mm두께의 열영향부를 제외하고는 열영향부의 충격치가 용착금속 보다 동등하거나 그 이상으로 나타난 것은 본 시험편의 노치위치가 용착금속, 열영향부 및 모재를 포함하는 위치에 있어 순수한 열영향부의 특성만을 얻을 수 없었기 때문으로 생각된다.

30mm 두께판의 70°의 열영향부가 다른 시험편의 충격치 보다 적은 것은 다른 용접이음재 보다 입열량이 많았기 때문으로 생각되며 따라서 40°홈이 70°홈 보다 충격강도 면에서 유리한 것으로 생각된다.

3.4 피로시험결과

피로균열의 발생점은 모든 시험편에서 표면 토우부의 중앙점 근처에서 발생하여 토우부를 따라서 전파하였으며, 일반적으로 용접토우부에 발생하는 피로균열은 반타원 형상이 된다고 알려진 것과 같이 본 실험에 의한 최종 파단후 파면관찰에서도 이와 같은 현상을 확인할 수 있었다.

본 실험의 결과에 의하면 피로균열발생수명 및 파단수명에 미치는 홈각도의 영향은 나타나지 않았다. 즉 홈각도 40°로 맞대기 용접이음부를 제작하여도 70°에서 제작한 이음재와 동등한 피로강도 특성을 갖게 됨을 알 수 있었다. 또한 모재의 두께 차이에 의한 피로강도 특성의 차이도 없음을 알 수 있었다.

이것은 전부 토우부에서 피로균열이 발생하여 파단하였으므로 토우부의 형상과 모재 또는 열영향부의 피로강도 특성만에 의해서 피로특성이 결정되기 때문이라고 생각된다.

피로시험결과에 대한 S-N 선도는 Fig. 4에 나타내었다. 또 구조용 연강재의 평활재에 대한 일정 변형률제어 피로시험과 탄산가스 아크용접에 의한 용접금속에 대한 피로시험결과 및 용접비드형상을 고려하여 피로균열발생수명을 추정하여 보았다. Fig. 4의 점선과 같이 본 실험의 피로균열 발생수명과 비교검토하여 정도 좋게 추정할 수 있었다.

4. 결론

두께가 다른 연강재에 홈각도를 40° 및 70°(또는 60°)로 변화시켜서 서브머지이드 용접을 실시하여 인장, 굽힘, 충격 및 피로시험을 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 인장하중에 대한 파단위치는 모두 모재부에서 발생하였으며 모재와 동등한 강도를 얻을 수 있었고 흠각도의 변화에 대한 차이점은 없었다.
- (2) 굽힘시험결과 용착금속, 열영향부 및 루트부등에서 균열이 발생하지 않았으며 40°의 흠각도에서도 만족한 용착금속을 얻을 수 있었음을 확인하였다.
- (3) 충격치는 흠각도가 클수록 입열량의 차이 때문에 저하할 수 있음을 확인하였다.
- (4) 맞대기 용접이음재의 토우부에서의 피로균열발생 및 파단특성은 흠각도 및 두께에 의한 피로 특성의 차이는 없으며, 40°의 흠각도로 맞대기 용접이음을 하였을 때도 피로강도면에서 충분한 강도를 갖는다.

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of the base and welded metal

Items	Chemical composition(%)											Mechanical properties		
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	V	Nb	Y.P (kgf/mm ²)	T.S (kgf/mm ²)	EI. (%)
Base metal (SS41)	0.17	0.23	0.80	0.023	0.021	0.02	0.02	0.01	0.02	0.000	0.002	28.0	46.0	24.6
welded metal (AWS EH14 & F7A2)	0.10	0.53	1.42	0.020	0.020	0.02	0.02	0.01	0.09	0.003	0.003	39.0	49.0	31.0

Table 2 Results of the tensile test

Specimen No.	Y.P. (kgf/mm ²)	T.S. (kgf/mm ²)	EI. (%)	E(kgf/mm ²)		Reduction of area(%)
				W.M.	H.A.Z.	
T141		47.0	23.3			52
T142	31.0	47.0	20.7	21739	21276	50
T141B	33.0	43.6	29.9	21232	21112	51
T142B	31.2	42.8	28.3	21090	20929	52
T171		45.5	33.3			50
T172	32.0	46.0	24.0	21276	21276	51
T171B	29.5	42.6	26.5	21100	21004	49
T172B	27.9	42.0	28.8	20863	20408	48
T241		50.4	21.0			58
T242	33.3	50.0	27.0	21276	20408	55
T241B	29.1	43.5	34.3	20902	20303	51
T242B	28.4	43.4	35.5	20893	20040	54
T261		49.4	25.7			52
T262	34.0	48.7	22.8	20920	20780	50
T261B	26.9	44.0	32.4	20050	20000	52
T262B	30.8	43.6	27.6	20210	20110	51
T341		45.2	21.5			58
T342	28.0	46.0	17.8	20408	20000	55
T341B	31.2	44.6	24.2	20200	20010	54
T342B	31.0	43.0	24.0	20011	20000	53
T371		42.8	16.6			54
T372	26.7	44.0	14.5	21020	21048	53
T371B	31.1	42.3	24.1	20929	20819	53
T372B	28.7	41.0	19.3	20289	20249	52

Table 3 Results of the Charpy impact test

Thickness (mm)	Groove angle (degree)	Absorbed energy kgf-m (at -20°C)	
		W.M	H.A.Z
10	40	1.44	2.05
	70	1.41	2.01
20	40	2.56	2.85
	60	2.50	2.81
30	40	3.28	4.14
	70	3.27	2.30

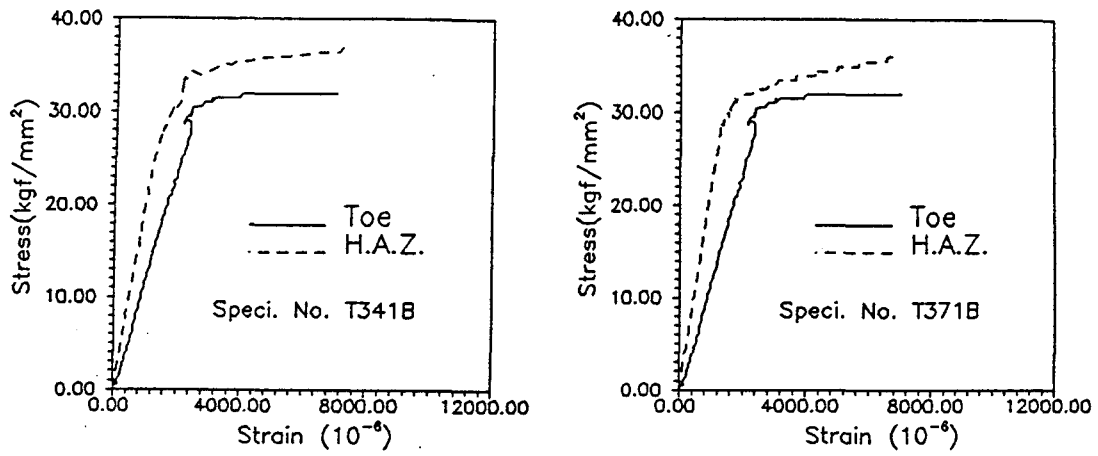


Fig. 1 Stress-strain diagram for specimens with reinforcement

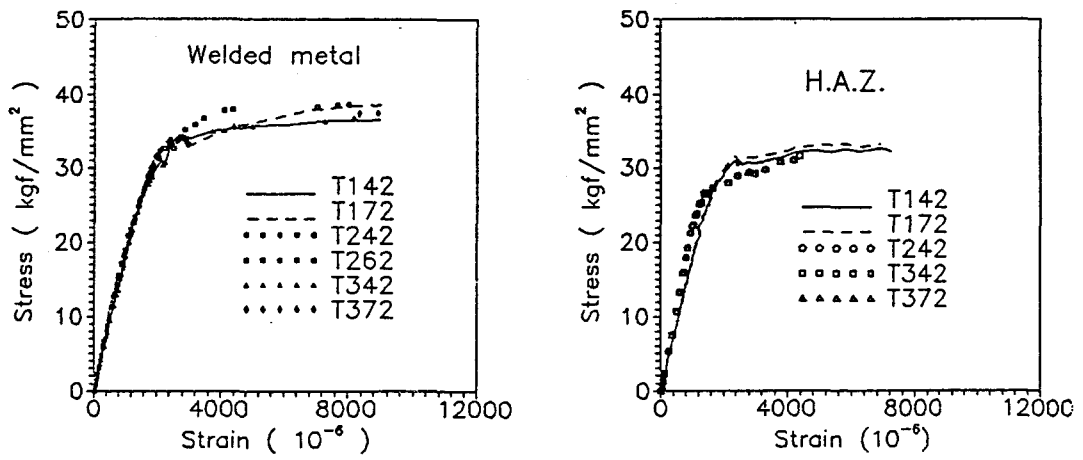


Fig. 2 Stress-strain diagram for specimens without reinforcement

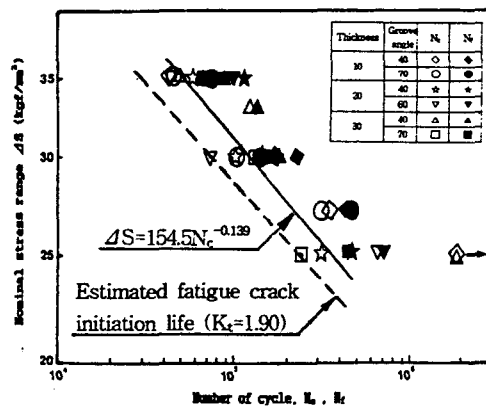
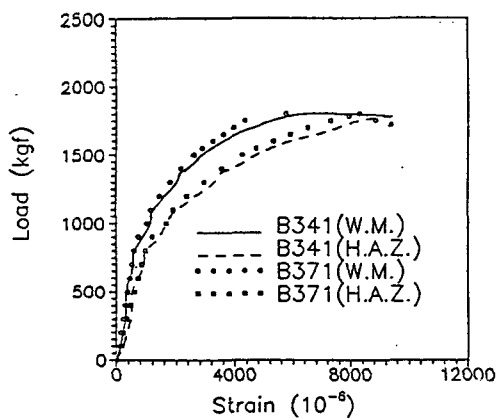
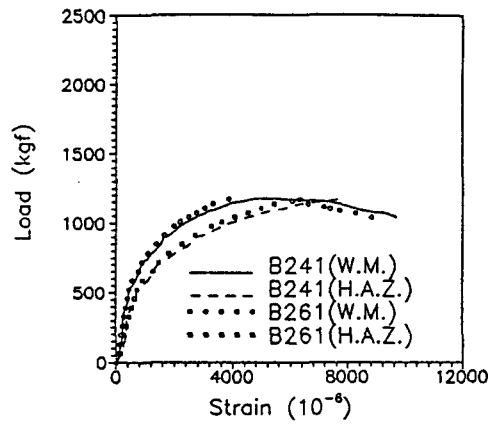
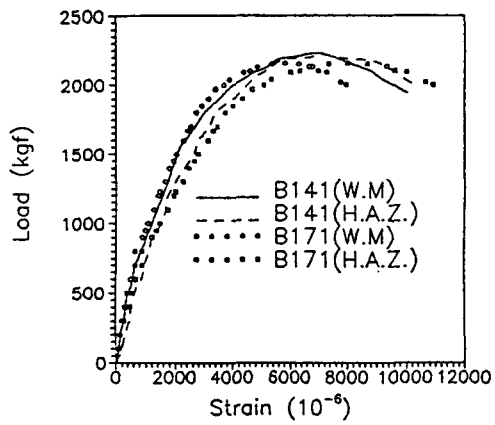


Fig. 3 Load-strain diagram for bend specimens

Fig. 4 The results of the fatigue test by the as-welded specimen