플라즈마 절단 후 제작된 용접부의 기계적 특성

신규인*, 김형곤**, 박재학***, 김성청****
*충북대학교 안전공학과 대학원, **충북대학교 정밀기계공학과 대학원,
***충북대학교 안전공학과, ****충북대학교 정밀기계공학과

Abstract

The influence of surface preparation methods after plasma cutting on the quality of welding zone is investigated. For comparison. three types of welded specimens are prepared by machining(WM), plasma cutting with light regrinding(WPG) and without regrinding(WP), by using three kinds of materials, carbon steel(S45C), stainless steel(Type304) and aluminum alloy (6061-T6). Nondestructive examination, hardness test, microstructure examination, and fracture toughness test are performed. The results show that there is no appreciable reduction in hardness or fracture toughness in WP specimens. But a little difference in heat affected gone size is observed.

1. 서론

절단 공정은 용접구조물의 제조에서는 기본 공정이다. 일반적으로 플라즈마 절단 후 용접 공정이 이루어지는 곳에서는 많은 경우에 플라즈마 절단 표면이 기계 절단 표면 보다 더 조악한 것으로 알려져 있다. 따라서 플라즈마 절단 후에는 기계 가공이나 연삭가공으로 표면 작업을 한 후에 용접을 하는 것이 일반적이다. 그러나 용접시 재료 표면에 필요한 질적인 요소가 플라즈마 절단만으로도 충분하다면, 기계가공이나 연삭 표면 작업을 생략 할 수 있을 것이다.

이에 본 논문에서는 두께가 25T (25mm)인 탄소강(S45C), 스테인레스강(Type 304), 알루미늄 합금(6061-T6)의 세 재료를 준비하여, 기계 절단 후 용접(WM), 플라즈마 절단 후 절단 표면의 연삭 작업 후 용접(WPG) 그리고 플라즈마 절단 후 용접(WP)의 세 조건으로 나누어, 용접부의 비파괴검사와 경도 시험 및 파괴인성 시험 등을 통해 각각의 조건에 대한 용접부의 기계적 특성과 조직 등에 대하여 살펴보았다.

2. 시험 방법

2-1 실험 재료 및 절단, 용접 조건

본 실험에 사용된 재료는 두께가 25T(25 mm)인 탄소강(S45C), 스테인레스강(Type304) 및 알루미늄 합금(606-T6)의 세 재료로, 화학 성분은 Table 1에 나타내었다. 이 세 재료로부터 기계적 특성을 알아보기 위하여 기계로 절단한 후에 용접을 실시한 WM 조건, 플라즈마로 절단한 후에 절단 표면으로부터 두께 방향

의 2~3 mm 깊이로 연삭 표면 작업을 한 후에 용접을 실시한 WPG 조건 그리고 플라즈마로 절단한 후에 표면 작업을 하지 않고 절단면에 직접 용접을 실시한 WP 조건의 세 가지 형태의 용접부 실험 재료를 만들었다.

세 재료의 플라즈마 절단시 절단 조건은 노즐과 팁과의 거리는 10mm, 절단 전류(cutting current)는 250Amp 정도의 전류로 일정하게 주었고, 혼합 가스는 아르곤(Ar) 가스 30 ℓ/min, 수소(H_2) 20 ℓ/min, 질소(N_2) 5 ℓ/min으로 하였다. 절단시 한 면은 수직으로, 다른 한 면은 45° 로 경사지게 절단하였다.

세 재료의 용접 방식을 살펴보면 탄소강의 경우 MIG(metal inert gas) 용접 방식으로, 스테인레스강은 TIG(tungsten inert gas) 용접 방식으로 그리고 알루미늄 합금강은 MAG(metal active gas) 용접으로 실시하였고 용접 조건은 Table 2에 나타내었다.

Table 1 The results of chemical compositions of the three materials

Materials	Thickness (mm)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mg	Zn	Ti	Fe
S45C	25	0.45	0.24	0.72	0.18	0.04	0.01	-	0.03	-	-	-	
Type304	25	0.37	0.53	1.07	0.22	0.0.	18.05	8.10	-	-	-	-	-
6061-T6	25	-	0.58	0.47	-	-	0.23	0.003	0.24	1.0	0.007	0.017	0.5

Table 2 Welding conditions for each material

Materials	Thickness (mm)	Welding Method	Filler Meter	Current (Amp)	Voltage (V)	Shield Gas
S45C	25	MIG	S50C	280	380	CO_2
Type 304	25	TIG	308	350	380	TIG+ARC
6061-T6	25	MAG	5356	350	380	Ar

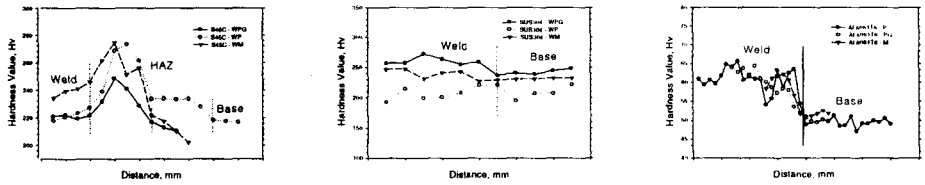
3. 결과 및 고찰

3-1 용접부의 비파괴 검사 및 경도 측정

세 재료로부터 WM 조건, WPG 조건 그리고 WP 조건으로 용접을 한 후에 용접 상태를 평가하기 위하여 KS-B-0845 규격에 준하여 용접부의 비파괴 검사(γ 선-검사)를 실시하였다. 비파괴검사 결과 탄소강과 스테인레스강의 경우 세 조건 모두 1급 판정을 받았지만, 알루미늄 합금의 경우 WP 조건에서 용접부와 모재부 사이에 용입 불량에 의한 기공 형성으로 4급 판정을 받았다.

또한 용접부의 경도 분포를 살펴보기 위하여 미세경도기를 이용하여 경도를 측정하였다. Fig. 1은 세 재료의 WM, WPG, WP 조건에 대한 용접부, 열영향부, 모재부의 미세 경도값을 나타낸 것이다. Fig. 1 (a)의 탄소강을 보면 열영향부의 경도가 높게 나타났고, WP 조건의 경우 다른 조건보다 열영향부가 더 넓게 형성되었음을 알 수 있다. Fig.1 (b)의 스테인레스강의 경우 용접부와 모재부의 경도값이 탄소강과는 달리 크게 차이가 나지 않았다. 그러나 WP 조건의 경우 WM,

WPG 조건 보다 경도값의 분포가 낮게 나타나는 것을 알 수 있었다. Fig. 1 (c)의 알루미늄 합금의 경우도 스테인레스강과 마찬가지로 용접부가 모재부 보다 높게 나타남을 알 수 있었다. 또한 세 조건의 경도분포는 다른 재료와는 달리 큰 차이가 나지 않았다.



(a) S45C (b) Type304 (C) 6061-T6

Fig. 1 Hardness distribution in each material

3-2 인장 시험 및 파괴인성 시험

탄소강, 스테인레스강 그리고 알루미늄 합금 용접부 재료의 인장시험을 위하여 Fig. 2(a)에서와 같이 인장 시편을 준비하였다. 인장 시편에서 용접부는 시편의 표점거리 내에 있도록 하였다. 세 재료로부터 각각의 조건에 대한 인장 시험결과는 Table 3에 나타내었다.

3-3 미세 조직 관찰

재료의 조직을 관찰하기 위하여 금속 현미경으로 모재부와 용접부를 관찰하였다. Fig. 3은 스테인레스강과 알루미늄 합금의 WM 조건과 WP 조건의 모재부와 용접부의 조직 사진이다. Fig. 3 (a), (b)는 스테인레스강의 WM 조건과 WP 조건의 모재부와 용접부의 조직 사진으로 두 조건 모두 오스테나이트 기지에 Cr탄화물이 석출되어 있는 것을 볼 수 있다. Fig. 3 (a),(b)는 알루미늄합금의 WM 조건과 WP 조건의 모재부와 용접부의 조직 사진으로 모재부와 용접부 사이의 열영향부에서 탄화물이 석출되어 있는 것을 볼 수 있다. 그러나 세 재료 모두 모재부와 용접부 사이에서 WM, WPG, WP 조건에 대한 조직 자체에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다

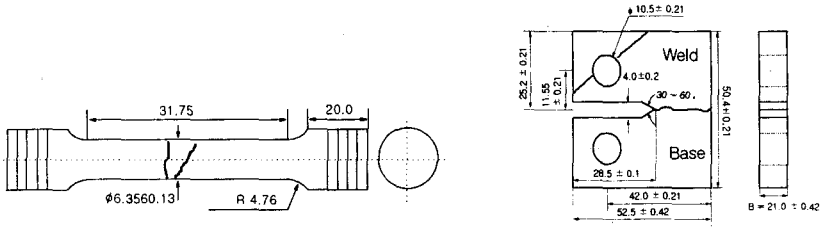
3-4 파괴인성(K_{IC}) 시험

대부분의 용접 구조물들의 균열성장에 따른 파괴는 모재부나 용접부보다 모재부와 용접부 사이의 경계면에서 발생하는 것으로 알려져 있다. 이에 대한 용접부 균열의 안전성을 평가하기 위하여 파괴인성 시험 규격(ASTM E399)에 준하여 시험을 실시하였다. C(T) 시편의 형상 및 크기는 Fig. 2(b)에, 파괴인성 시험 결과는 Table 4에 나타내었다.

탄소강과 스테인레스강에서는 모재부의 파괴인성 값이 용접부보다 높게 나타났지만, 알루미늄 합금의 경우 용접부가 높게 나타났다. 그러나 각각의 재료에 대해서 WM 조건, WPG 조건 그리고 WP 조건의 용접부의 파괴인성 값을 비교

해보면 거의 유사한 값을 얻을 수 있었다

Fig. 4는 세 재료에 대한 WM 조건과 WP 조건으로부터 파괴인성 시험 후 용접부 시편의 파단 사진을 나타낸 것이다. 사진에서 보면 Fig. 4의 탄소강과 스테인레스강의 WM, WP조건 모두 딤플(dimple)에 의한 연성 파괴를 보여준다. 알루미늄 합금강의 경우 딤플이 형성된 연성 파괴 주변에 취성 파괴가 함께 보이는 혼합 파괴 형상을 보여 준다.



(a) tensile specimen (b) C(T) specimen

Fig. 2 Diagrams of the tensile and C(T) specimens

Table 3 Tensile properties of the three materials

Materials		Yield strength (MPa)	Ultimated Strength (MPa)	Elongation (%)	Reduction of Area (%)
S45C	Base	361.1	669.4	28.41	56.27
	WM	304.6	715.0	14.25	27.88
	WPG	295.3	705.6	14.7	23.77
	WP	289.1	662.1	22.32	-
Type304	Base	236.8	688.3	84.68	81.91
	WM	221.0	527.3	24.72	-
	WPG	214.7	618.9	31.70	-
	WP	214.7	647.3	51.21	-
6061-T6	Base	115.9	195.4	-	44.95
	WM	-	-	-	-
	WPG	82.8	142.4	20.17	26.93
	WP	79.5	142.4	14.17	26.36

4. 결론

두께가 25T(25 mm)인 탄소강(S45C), 스테인레스강(Type304), 알루미늄 합금(606-T6)의 세 재료로부터 기계 절단 후 용접(WM), 플라즈마 절단 후 절단 표면의 연삭 작업 후 용접(WPG) 그리고 플라즈마 절단 후 용접(WP)의 세 조건으로 나누어 용접부의 기계적 특성을 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 탄소강과 스테인레스강의 경우 비파괴 검사 결과 세 조건 모두 1급을 얻을 수 있었고, 경도분포에서는 탄소강의 경우 WP 조건에서 열영향부가 더 넓게 나

타났다. 파괴인성 시험에서도 각각의 조건에 대해서 파괴인성 값이 거의 같았다. 또한 SEM 관찰시 딤플에 의한 연성파괴로 파단된 것을 알 수 있었다.

2. 알루미늄 합금강의 경우 비파괴 검사결과 WP 조건에서는 모재부와 용접부 사이의 용입 불량에 의해 4급이었다. 파괴인성 시험에서는 파괴인성 값이 거의 같았다. 또한 SEM 관찰시 딤플이 형성된 연성 파괴 주변에 취성 파괴가 함께 보이는 혼합 파괴 형상을 보여 주었다.

Table 4 Results of the fracture toughness test

Materials		K_{IC},K_Q (MPa$\sqrt{m}$)
S45C	Base	82.07
	WM	99.70
	WPG	98.59
	WP	101.41
Type304	Base	35.15
	WM	40.20
	WPG	42.08
	WP	42.10
6061-T6	Base	18.86
	WM	13.21
	WPG	13.10
	WP	12.46

*6061-T6 could be K_{IC}, but S45C and Type304 was K_Q.

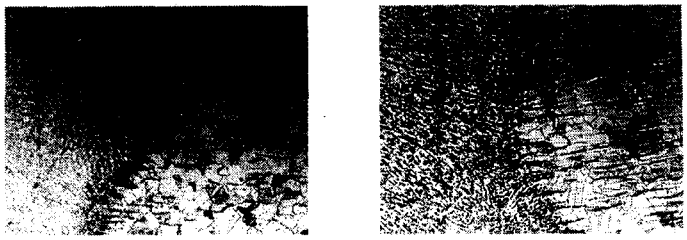
후기

본 연구비는 1996년도 학술진흥재단의 대학부설연구소 연구비 지원으로 수행된 것으로 관계자여러분께 감사드립니다.

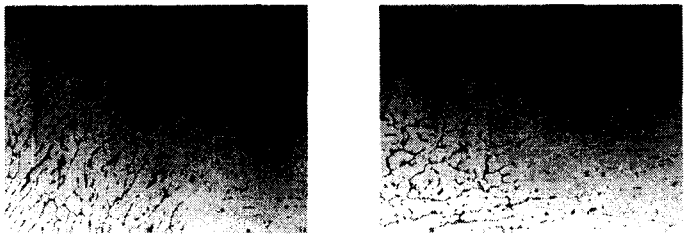
참고문헌

1. Welding Procedure Committee, "Effects of Plasma Cut Surface on the Quality of Aluminium Alloy Welds", Welding International, No. 4, pp. 322-342, 1988.
2 조종춘, 김영석, 김학민,"스테인레스강용접 열영향부의 KAL 거동 및 기계적 특성에 관한 연구", 대한용접학회지, Vol. 8, No. 4, pp. 27-34, 1990.
3. V. Multansky, K. Handl, "Mechanical Properties of Welded Joints with Weld Areas Prepared by Plasma Cutting", Welding International, Vol. 5, No. 8, pp. 663-667, 1991.
4. 윤국한, 김도훈, "레이저빔에 의한 이종 스테인레스강(오스테나이트계/페라이트계)의 접합에 관한 연구", 대한금속학회지, Vol. 34, No. 10, pp. 1367-1374, 1996.

6. H. Yamamoto, "Recent trends in low current air plasma cutting", Welding International, No. 6, pp. 528-536, 1987.



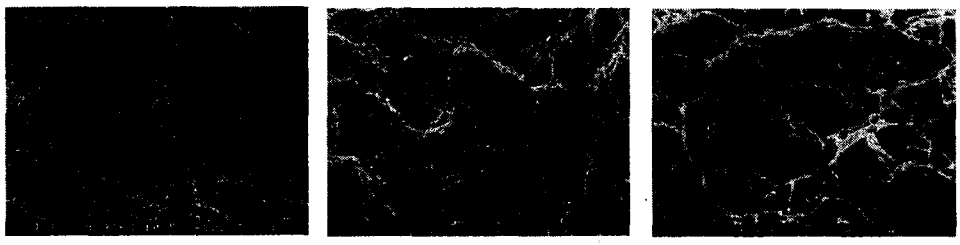
(a) Type 304 WM ×100 (b) Type 304 WP ×100



(c) 6061-T6 WM ×100 (d) 6061-T6 WP ×100

Fig. 3 Microstructure of the weld joints of the three materials

(a)S45C WM3 (×1000) (b) S45C WP3(×1000) (c) Type304 WM2(×1000)



(d) Type304 WP2(×1000)(e) 6061-T6 WM1(×1000)(f) 6061-Y6 WP2(×1000)

Fig. 4 Fracture morphology of the fracture toughness specimens