

가스텅스텐아크 용접한 클래드(A4045/A3003) 알루미늄 합금의 기계적성질 및 미세조직

김기빈* · 국진선** · 윤동주*** · 김병일*** · 이일천****

*순천대학교 재료·금속공학과

**한려대학교 신소재공학과

***순천대학교 산학협력단

****알메탈(주) 기술연구소

Microstructure and Mechanical Properties of Clad(A4045/A3003) Al Alloy by Gas Tungsten Arc Welding

Ki-Bin Kim*, Jin-Seon Gook**, Dong-Ju Yoon***, Byung-Il Kim*** and Il-Cheon Lee****

*Department of Materials and Metallurgical Engineering, Suncheon University, Suncheon 540-742, Korea

**Dept. of Advanced Materials Engineering, Hanlyo University, Kwangyang 545-704, Korea

***Corps of Industrial-Academic Cooperation, Suncheon University, Suncheon 540-742, Korea

****Research Center, ALMETAL Industrial Co., Ltd. Yeosu 556-822, Korea

*Corresponding author ; kb0504kb@naver.com

(Received April 17, 2008 ; Revised June 23, 2008 ; Accepted August 11, 2008)

Abstract

In this paper, research was the variation of microstructure and mechanical properties of clad(A4045/A3003) Al alloy sheet by gas tungsten arc welding. Tensile properties of the gas tungsten arc welding joint decreased because of the softened heat affected zone(HAZ). The hardness of HAZ was lower than that of base metal, because relieved the work hardening effect of the welding heat. Hardness distribution of the weld zone with the base metal appears similarly, but the hardness of HAZ decreased remarkably. The microstructure in the weld zone of A4045 clad layer was formed a coarse columner grains of Si-rich. In the case of large weld heat input, the Si of the A4045 were diffused and until A3003 weld zone they decreased the strength.

Key Words : TIG welding, Clad(A4045/A3003) Al alloy, HAZ, Work hardening, Columner grains

1. 서 론

클래드(A4045/A3003) 알루미늄합금은 BAS121합금이라고도 하며, KSD7043(알루미늄합금 뿔납 및 브레이징시트)에서 다음과 같이 규정하고 있다. 우선 BAS는 브레이징 시트(Brazing Sheet)를 의미한다. 다음 121의 첫 번째 숫자는 브레이징 시트를 구성하는 호칭번호(한면 뿔납 클래드일 경우 1)이며, 두 번째 숫자는 표피재의 합금번호 및 호칭번호(A4343의 경우

1, A4045일 경우 2)이며, 세 번째 숫자는 심재의 합금번호 및 호칭번호(A3003의 경우 1)를 각각 의미한다. 따라서 BAS121합금은 피재인 A4045합금이 심재인 A3003합금에 한면 뿔납 클래딩 되어있는 브레이징 시트이다.

이 브레이징 시트는 필요한 폭으로 절단된 스트립(코일)으로서 약 80m/min의 속도로 연속 공급되면서 조관성형을 수반하는 고주파유도용접(High Frequency Induction Welding)에 의하여 파이프형태로 제조된다. 이렇게 제조된 파이프는 에어컨이나 자동차 열교환

기의 PFC(Parallel Flow Condenser)의 헤더튜브로 장착되어 별도의 브레이징 필러(Brazing Filler)가 없는 상태로 브레이징 할 수 있다. 즉 BAS121합금은 피재(A4045)의 액상선온도가 590°C, 심재(A3003)의 액상선온도가 654°C이다. 이 합금을 620°C에서 30분 정도 가열하면 피재가 녹아 브레이징 필러의 역할을 한다.

클래드 알루미늄합금재의 연속적인 고주파유도용접을 이루기 위해서 스트립과 스트립을 신속히 연결주어야 하는데 주로 판재를 맞대어 가스텅스텐 아크용접하는 방법이 사용된다. 이처럼 아크용접된 열영향부(HAZ)는 용접부의 팽창, 수축 및 상변태 등에 의하여 항복응력에 가까운 잔류응력이 발생하여 기계적으로 매우 취약하게 된다. 또한 일반 구조용 파이프재료와는 달리 클래드 알루미늄합금 파이프는 피재층(A4045)이 용융되어 클래드재의 특성을 발휘할 수 없게 되어 연속공정중 비파괴검사(외전류탐상법)로 선별처리하여야 한다. 자동차 열교환기용 클래드 알루미늄합금파이프의 치수는 주로 두께가 1.5mm, 외경이 22mm의 것이 사용되는데, 이는 폭 68mm의 판재를 롤 성형되어야 제조가 가능하다. 따라서 본 연구에서는 폭 68mm, 두께 1.5mm인 클래드(A4045/A3003)알루미늄합금 판재를 맞대어 가스텅스텐 아크용접하여 시험편을 제작하고 용접조건이 미치는 열영향부의 기계적 성질과 피재로서 작용하는 A4045합금용접부에 대한 조직변화에 주안점을 두어 용접부의 특성을 조사하였다.

2. 사용 재료 및 실험방법

2.1 사용 재료

실험에 사용된 클래드(A4045/A3003) 알루미늄합금은 독일의 HYDRO사에서 생산된 것으로 두께 및 폭은 각각 1.5mm 및 68mm이며 질별은 H14(가공경화만 하여 인장강도가 1/2경질로 한 것)였다. 이 판재의 클래드율은 A4045층이 전체두께의 10%로서 약 0.15mm이다. 이 판재는 보통 H14의 상태에서 조관 성형하여 고주파유도용접한 후 요구되는 기계적 성질 및 치수는 인발을 하여 H16(가공경화만 하여 인장강도가 3/4경질로 한 것)의 상태로 조절할 수 있다. Table 1 및 Table 2에 A4045/A3003클래드재의 기계적 성질 및 화학조성을 각각 나타내었다. 본 논문에서 화학조성은 모두 중량비(wt.%)로 표기하였다.

2.2 실험방법

실험에 사용한 가스텅스텐 아크용접을 Fig. 1에 나타

Table 1 Mechanical properties of test material (A4045/A3003)

Tensile properties			Vickers hardness (Hv)
Tensile strength(MPa)	Yield strength(MPa)	Elongation (%)	
163	142	9.8	51.5

Table 2 Chemical compositions (wt.%) of test material(A4045/A3003)

Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Al
A4045	9.92	0.32	0.02	0.05	0.95	Bal.
A3003	0.11	0.41	0.07	1.19	0.005	Bal.

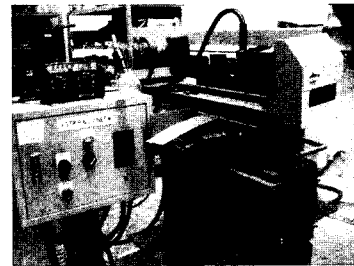


Fig. 1 Gas tungsten arc welding machine

내었다. 예비실험으로 폭 68mm, 두께 1.5mm의 시험편에 대해서 용접성을 조사한 결과 전압 35V로 고정하고 용접전류를 80~140A로 변화시켰을 때 양호한 비드가 형성되는 조건은 100~120A였다. 따라서 이러한 조건으로 아르곤가스 분위기하에서 3m/min의 속도로 별도의 용접봉과 용가제를 사용하지 않고 맞대기 용접하여 시험편을 제작하였다.

인장시험에 사용된 시험편은 KS B 0801에서 규정하는 정형시험편(5호)으로 Fig. 2와 같다. 시험편 A는 스트립의 길이방향(압연방향)으로 채취한 원소재의 인장 시험편이고, 시험편 B와 C는 각각 스트립의 길이방향에 대하여 수직 및 평행하게 용접한 시험편이다. 인장 시험은 KS B 0802에 의하였으며, Cross-head의 이동속도는 10 mm/min으로 하였다.

경도측정은 마이크로비커스 경도기를 사용하였으며, 용접부와 열영향부를 포함한 모재부의 경도측정은 용접선을 가로지르는 방향으로 0.2mm마다 측정하였고 각각 3회 측정하여 평균값으로 나타내었다. 이때 시험하중은 100g, 가압시간은 15초였다.

용접부의 미세조직관찰에는 광학현미경(OM) 및 주사전자현미경(SEM)을 이용하였다. 미세조직관찰을 위한 부식액으로는 Keller 용액(HCl 1.5% HNO₃ 2.5%, HF 1%, H₂O 95%)을 사용하였다.

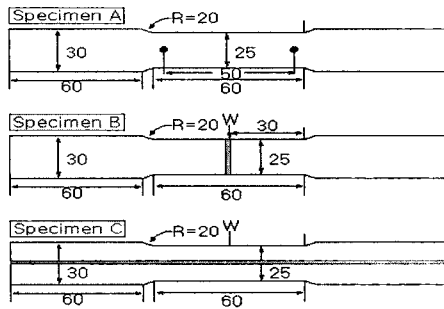


Fig. 2 Dimension of specimen for tensile test
 A : Raw material
 B : Vertical direction for rolling
 C : Horizontal direction for rolling

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 실험결과

3.1.1 용접부의 관찰

Fig. 3은 클래드(A4045/A3003)알루미늄합금 판재의 단면을 나타낸 것으로 Fig. 3 (a)와 같이 피재인 A4045의 두께는 전체두께의 약 10%이다. Fig. 3 (b)는 A4045/A3003의 경계면(○표기 부분)을 나타낸 것으로 비교적 양호하게 접합되어 있음을 알 수 있다.

Fig. 4는 가스텅스텐 아크용접한 용접부의 단면을 나타낸 것이다. 35V, 100A로 용접한 경우(a) 용접부의 길이는 약 2.5mm였으며, 열영향부의 길이는 약 6mm에 달하였다. 35V, 120A로 용접한 경우(b) 용접부의 길이는 약 3.5mm이었고 열영향부의 길이는 약 8mm

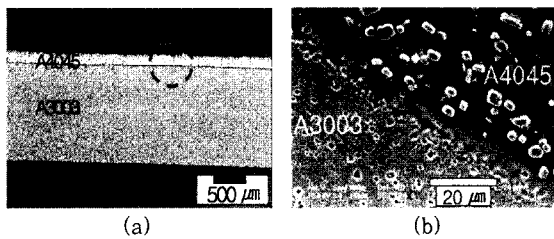


Fig. 3 Cross sectional images of A4045/A3003 clad alloy

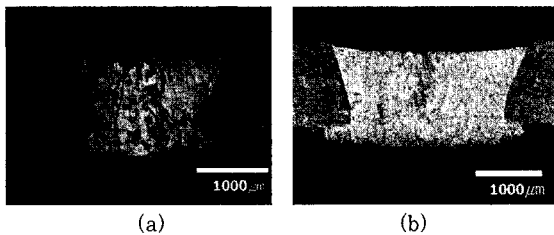


Fig. 4 Variation of cross section according to welding conditions
 (a) 35V, 100A (b) 35V, 120A

에 달하였다. 용착부의 형상은 용입량이 증가에 따라 그 폭이 넓어지며, 개선팅이 없는 맞대기 용접부이지만 용입형태는 A3003의 하단부까지는 용입량이 감소하다가 A4045 부근에서는 다시 증가하는 형태를 보였다. 특히 용입량이 적은 100A의 경우 루트부로 향하는 각도가 크게 나타났다.

Fig. 5는 Fig. 4의 용접부에 대한 열영향부의 조직 변화를 나타낸 것이다. Fig. 5(a)의 허부의 클래드(A4045)면(화살표 좌측)에서는 A3003의 용입부가 0.5mm 정도 혼합된 흔적이 나타나는데, 이러한 현상은 다량의 Si을 함유한 A4045가 상대적으로 용점이 낮기 때문으로 보인다. Fig. 5(b)는 화살표 부분을 확대한 것으로 클래드 A4045층은 Si 화합물이 주상정 또는 수지상정으로 다양하게 존재하고 있다. 이러한 변화는 Mn이 1%정도 함유된 A3003의 용접부 경계면에서도 관찰되었다.

3.1.2 기계적 특성

Fig. 6은 Fig. 2에 나타낸 시험편 A와 시험편 B(압연방향과 수직으로 용접) 및 시험편 C(압연방향과 평행으로 용접)을 2.2의 방법으로 인장시험 한 결과를 나타낸 것이다. 시험편 A의 인장강도는 약 162MPa, 항복강도는 약 140MPa를 나타내었다. 시험편 B는 인장강도가 약 135MPa로 감소하였고, 항복강도는 약

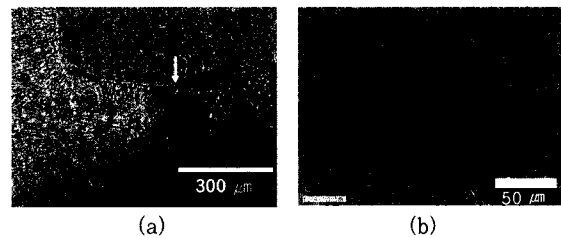


Fig. 5 Cross sectional SEM images of the A4045/A3003 interface (35V, 120A)

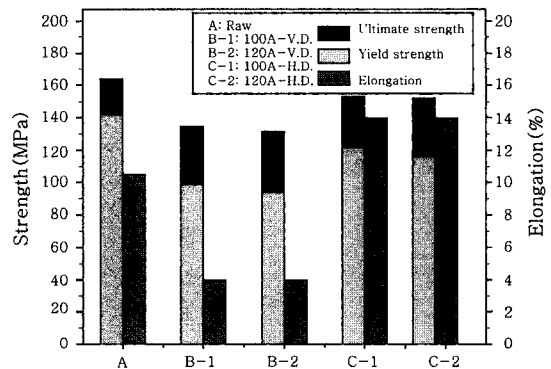


Fig. 6 Comparisons of tensile properties in TIG welding conditions and specimen types

98MPa로 현저히 감소하였다. 시험편 C는 인장강도가 약 155MPa로 감소하였고, 항복강도는 약 118MPa로 다소 감소하였다. 강도는 시험편 B 및 시험편 C에서 용접전류의 변화에 따라서 큰 변화를 보이지 않았지만 100A의 경우가 약간 높은 값을 보였다.

시험편 B의 강도감소는 열영향부에서 용접부의 수축 및 팽창, 상 변태에 의하여 항복응력에 가까운 잔류응력의 발생 때문에 취약해졌기 때문으로 보인다. 시험편 C의 경우 비교적 강도가 높은 용접부가 시험편 길이에 평행하게 놓여 있어 취약한 열영향부의 강도를 상쇄하기 때문에 강도의 저하는 나타나지 않는다고 사료된다.

연신율은 시험편 A가 약 10%이었고 시험편 B는 용접전류와 상관없이 모두 약 4%로 현저히 감소하였다. 반면 시험편 C는 용접전류와 상관없이 모두 약 11%로 시험편 A보다 다소 증가하였다. 시험편 B에서 연신율이 현저한 저하하는 이유는 열영향부가 용접열에 의해 어닐링효과를 받게 되어 재결정 및 결정립성장이 일어나게 되고 따라서 가공경화효과가 소멸되어 열영향부의 강도가 모재에 비해 열화되었기 때문이다¹⁾.

Fig. 7은 시험편 C(압연방향과 평행으로 용접)의 용접전류에 따른 용접부의 경도분포를 나타낸 것이다. 용접부의 구분은 광학현미경에서의 경도위치에 따른 경도값의 변화에 따라 용착부, 열영향부, 모재부로 구분하였다. 100A의 경우 용착부의 경도는 모재부의 경도와 비슷한 Hv 52정도를 나타내었으나, 접합계면을 포함한 열영향부 고온역에서는 Hv 35로 현저히 감소하였고 열영향부의 저온역에서 모재로 갈수록 점차 증가하여 모재의 경도에 도달하였다. 120A의 경우 용착부의 경도는 모재부의 경도보다 약간 낮은 Hv 48정도를 보였으며, 접합계면을 포함한 열영향부 고온역에서는 Hv 33로 현저히 감소하였고 열영향부의 저온역에서 모재로 갈수록 점차 증가하여 모재의 경도에 도달하였다.

따라서 용접부 및 열영향부의 경도분포는 100A보다 120A에서 다소 감소하는 경향을 나타내었다.

용착부를 포함하는 열영향부의 전체길이는 100A일 때 약 8mm에 걸쳐 형성되고 있으며, 120A일 경우 10mm로 증가하였는데 이러한 이유는 용입량의 증가로 비드 폭이 증가하였기 때문이다. 열영향부의 경도가 120A에서 다소 낮아진 이유는 100A에 비해서 용입량이 크기 때문에 열전도 및 확산이 커지게 되고 가공경화효과도 상대적으로 저하되었기 때문으로 사료된다. H14로 가공경화된 A3003합금을 500°C에서 2시간 이상 어닐링 한 경우 경도는 Hv 32정도를 나타낸다고 보고되었다²⁾.

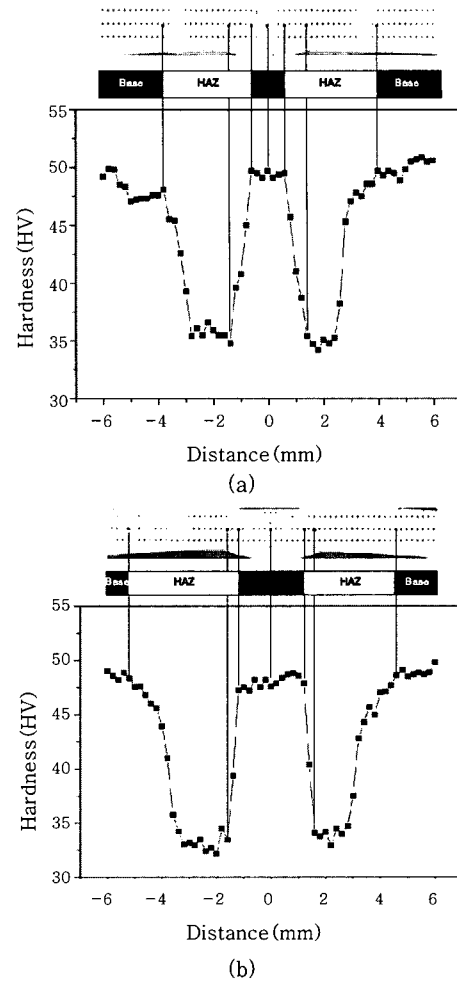


Fig. 7 Hardness distribution of cross section in the C type specimen
(a) 35V, 100A (b) 35V, 120A

A3003과 같은 비열처리형 알루미늄합금은 냉간가공 및 안정화처리를 통해 강화된 합금으로서 용접에 의해 재료의 재결정온도 이상까지 가열된 열영향부의 조직특성은 매우 다르게 나타난다³⁾. 비열처리형 알루미늄합금을 아크용접할 때 입열량을 증가시키면 열영향부의 크기는 증가하고 강도는 저하한다고 알려져 있다⁴⁾. 이러한 강도의 저하는 냉간가공에 의해 연신 및 강화된 조직이 용접열에 의해서 결정립이 재결정하고 온도가 증가 할수록(즉 용접선에 가까워질수록) 재결정된 결정립이 성장하기 때문이다.

3.2 고찰

Fig. 8은 인장시험 후 파단된 부분을 나타낸 사진으로 시험편 A(용접하지 않은 상태)와 시험편 C(압연방향과 평행)는 인장축과 슬립방향의 각도가 약 45°로 파단되었다. 반면 시험편 B(압연방향과 수직으로 용접)는

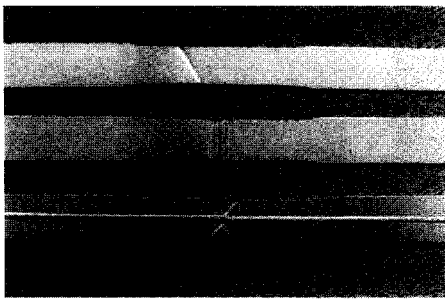


Fig. 8 Fracture types after tensile test

열영향부에서 전단이 발생하여 응력방향에 수직으로 파단되었는데, 모재부에서는 연신이 일어나지 않고 보재와 용융부의 사이의 열화된 영역에서 항복응력에 가까운 잔류응력이 발생하였기 때문으로 사료된다.

즉 사용된 시험편은 H14상태로 가공경화되어 용접시 열영향부 부분에서 높은 용접열에 의해 가공경화효과가 소멸되어 열화되었으며 모재에서 석출상 및 결정립성장이 일어나게 되어 강도가 모재에 비해 저하되었다고 사료된다. H18로 가공경화 된 0.3mm 박판 A3003합금의 레이저빔 용접의 경우 비드부와 열영향부의 강도가 모재보다 낮게 나타난다고 알려져 있다⁵⁾.

Fig. 9는 인장시험 후 파단면을 주사전자현미경 관찰한 것으로 시험편 A는 딴플주변이 매끄럽고 립의 형태가 길게 연신되어있다. 반면 열영향부에서 파단된 시험편 B는 딴플주변이 거칠고 변형에 저항하는 형태를 보인다. 따라서 인장시험에서 시험편 B가 시험편 A보다 비교적 연신이 적은 상태에서 항복응력을 받고 변형되었음을 알 수 있다.

한편 시험편 C의 파단은 일반적으로 인장시험편의 가장 약한 부분에서 파단이 일어나기 때문에 강도가 가장 낮은 열영향부에서 일어났을 것으로 예상된다. 즉 용접부인 (c)의 경우 딴플주변이 거칠고 변형이 심한 반면 열영향부인 (d)의 경우는 딴플주변이 (c)에 비해 매끄러우며 큰 변형이 없는 것을 보인다.

Fig. 9 (a), (b), (c)에서 화살표로 표시한 것은 딴플 내부에 2상 입자가 존재하는 것을 나타낸 것이다. 제 2상 입자를 함유하고 있는 상용재료에서의 연성파괴는 대부분 제 2상 입자들에 의해 유발되며 이러한 딴플은 제 2상 입자에 의해 미소공동의 발생, 성장 및 합체에 의하여 연성파괴가 일어나기 때문에 발생한다고 알려져 있다⁶⁾.

Fig. 10은 100A조건의 용접부 미세조직으로 EDS 분석 결과이다. A3003합금의 용접부인 ①과 ②에서는 Mn외에 Si가 검출되지 않았다. 반면 ③는 $Al_{100-x}Si_x$ ($x=6.67$), ④는 $Al_{100-x}Si_x$ ($x=15.6$), ⑤는 $Al_{100-x}Si_x$

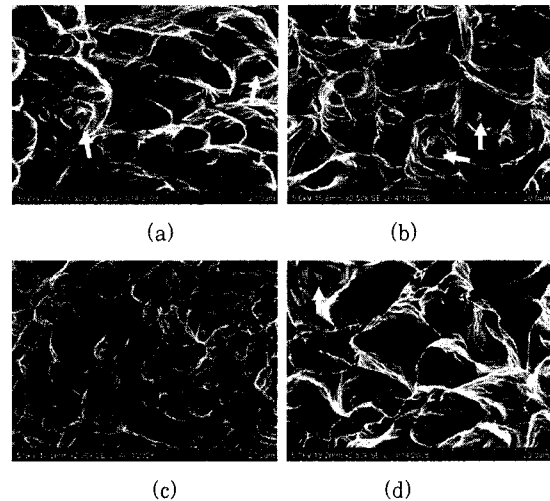


Fig. 9 Fractographs of the fractured surface in the TIG welds (a) A type (b) B type (c) Welds of C type and (d) HAZ of C type

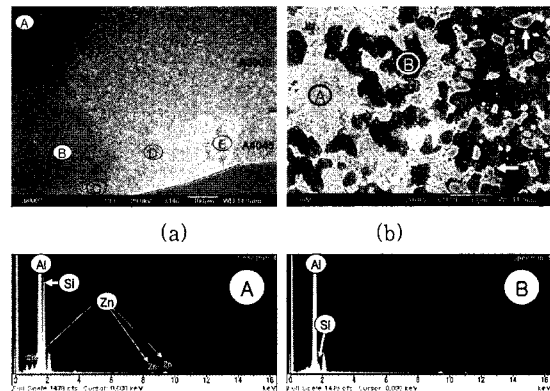


Fig. 10 SEM images and EDS analysis of a welded clad layer

($x=19.2$)로 Si가 증가하였다. Si는 용접부 하부표면의 약 $100\mu m$ 에서 관찰되었다.

120A조건일 때는 100A의 ①와 ②의 위치에서 $Al_{100-x-y}Si_xMn_y$ ($x=1.5, y=0.7$)로 Si가 검출되었으며 ③, ④, ⑤의 양상은 100A와 비슷하였다. 이러한 결과는 입열량이 큰 120A에서는 A4045에 함유된 Si의 확산이 비교적 쉽게 일어났기 때문으로 보이며, Fig. 7의 경도분포에서 120A의 경우가 용접부의 경도가 약간 낮게 나온 결과로 볼 때 A3003 용착부에 유동성이 좋은 Si가 소량 용해됨으로써 경도의 저하를 나타냈다고 사료된다.

Fig. 10 (b)는 Fig. 10(a)의 ⑤를 확대한 것으로 우측에 (<)로 표시된 지점은 A4045의 Si-rich화합물이 용해된 $Al_{100-x-y}Si_xZn_y$ ($x=30, y=1$)의 공정조직이며, ⑥는 $Al_{100-x}Si_x$ ($x=4$)의 Al 고용체로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 클래드(A4045/A3003)알루미늄합금 판재의 가스텅스텐 아크 용접부의 용접조건이 미치는 열영향부의 기계적 성질과 조직변화를 조사하였으며, 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 스트립의 압연방향에 수직인 방향으로 용접한 시험편은 열영향부에서 파단이 발생하여 모재보다 용접강도가 낮았고, 평행방향으로 용접한 시험편은 모재와 비슷한 용접강도를 나타내었다.

2) 경도는 용착부가 모재와 비슷하였으나 열영향부는 모재보다 현저히 저하하였다. 이러한 현상은 열화효과로 인한 가공경화의 효과가 감소되었기 때문이다.

3) A4045층은 용접 열변형에 보다 민감하게 작용하였으며 계면에서 비교적 큰 상의 변화가 관찰되었다.

4) 35V, 120A의 용접조건에서 A4045의 Si는A3003의 용접부까지 확산되어 미소한 강도의 감소원인이 되었다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과이며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Jong Won Yoon : Laser Welding of Aluminum Alloys, Journal of KWS, **18-2**(2000), 20-26(in Korean)
2. Il Cheon Lee, Yeong Jong Song, Jin Seon Gook, Dong Joo Yoon and Byung Il Kim : Microstructure and Mechanical Properties of A3003 Aluminium Alloy Welds by Heat-treatment, Journal of KWJS, **25-5**(2007), 51-57 (in Korea)
3. C.H. Lee, R.W. Chang : Weldability of Al Alloys, Journal of the KWS. **11-1**(1993) 2-8 (in Korean)
4. S.S. White, R.E. Manchester, W.G. Moffat and C.M. Adams : Plastic Properties of Aluminium - Magnesium Weldments, Welding Journal, **34-2** (1955), 112
5. I.S. Heo, B.C. Kim, T.H. Kim, J.S. Kim and H.Y. Lee : A Study on the Welding Behavior of A3003 Aluminium Alloy Thin Sheet by Nd : YAG Lazer Beam, Journal of KSLP, **4-1**(2001)29-38(in Korean)
6. D. Broek : Eng. Fracture Mechanics, **1**(10) (1973) 55-66