

Al6082-T6의 MIG용접부에서 입열량에 따른 열영향부의 연화와 인장특성에 관한 연구

백상엽* · 박경도** · 김원일*** · 조상명****,†

*한국폴리텍VII대학 산업설비자동화과

**동환산업(주) 기술연구소

***경남대학교 기계자동화공학부

****부경대학교 신소재공학부

A Study on Tensile Properties and HAZ Softening Depending on the Amount of Heat Input in MIG Welding of Al6082-T6

Sang-Yeob Baek*, Kyung-Do Park**, Won-Il Kim*** and Sang-Myung Cho****,†

*Div. of Industrial Facility Automation Engineering., Korea Polytechnic VII., Changwon 641-772, Korea

**Engineering R&D Institute, DongHwan Ind. Corp., Kyungnam, 641-315, Korea

***The school of Mechanical Engineering and Automation., Kyungnam Univ., Changwon 631-701, Korea

****Div. of Advanced Materials Sci. and Eng., Pukyong National Univ., Busan 608-739, Korea

†Corresponding author : pnwcho@pknu.ac.kr

(Received January 18, 2010 ; Revised February 4, 2010 ; Accepted December 7, 2010)

Abstract

Al6082-T6 is widely used because of its corrosion resistance and excellent strength. HAZ softening occurs in MIG welding process for this aluminium alloys because this aluminium alloy is heated to higher temperature than its aging temperature during welding. Therefore, low heat input and minimum standard deviation of heat input are required for narrow HAZ width and, for higher strength of welds. In this study, Al6082-T6 was used to examine for HAZ softening with various heat input in aluminium MIG welding. For weldments, micro hardness was measured and tensile test was carried out. Minimum hardness was increased at high speed welding such as 80cm/min and 120cm/min in welding speed comparing with 40cm/min. Also, in case of high speed welding such as 80cm/min and 120cm/min, tensile strength of weldments was increased about 10% comparing with low speed welding(40cm/min).

Key Words : Aluminum alloy, Al6082-T6, MIG Welding, Butt welding, Heat input, HAZ softening, Tensile properties, Heat affected zone

1. 서 론

알루미늄 합금 Al6082-T6는 북유럽 등의 선진국에서는 그 뛰어난 해양 내식성과 우수한 강도로 인해 해양구조물의 헬리덱(Helideck), 타워 갱웨이(Tower gangway)등의 해양구조물과 플랫폼(Platform), 알루미늄 래더(Aluminium ladder)등의 선박부품, 차량, 기계부품 분야에서 전 세계적으로 널리 사용되기 시작

하였다.

Al6082-T6의 MIG용접시 용접열영향부(HAZ)의 강도가 모재에 비해 지나치게 떨어지는 연화현상이 발생한다^{1,2)}. 이러한 연화현상은 T6열처리합금에서 나타나는 현상으로 170~200℃범위의 온도에서 인공 시효처리 된 합금이 용접되는 동안 시효 온도 이상으로 가열되면서 강도 확보를 위해 석출되었던 석출물들이 분해 및 조대화 되면서 발생하는 현상이다.

따라서 좁은 HAZ영역과 HAZ의 강도를 확보하기 위해 낮은 입열량을 사용하고 그 표준편차를 최소화 하는 기술이 요구된다.

본 연구는 Al6082-T6 합금에 대한 MIG용접부의 연화특성 및 강도특성에 미치는 용접 변수의 영향을 확인하기 위하여 수행하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 실험 재료

본 연구에서는 7mm두께의 시효경화 합금 알루미늄 Al6082-T6에 대하여 직경 1.2mm의 AWS ER 5356 Filler metal로 펄스 MIG (Metal Inert Gas) 용접을 실시하였다.

Table 1과 Table 2에 Al6082-T6에 대한 화학 조성과 주요 기계적 성질을 나타냈다.

2.2 실험 방법

6축 다관절 로봇을 사용하여 Bead On Plate 용접으로 One pulse one drop의 최적 스프레이 이행 조건 검토 후 I-그루브 맞대기 용접을 하여 열영향부의 연화 및 인장특성을 검토하였다.

2.2.1 One pulse One drop 스프레이 이행의 최적 펄스 조건 검토 실험

본 실험은 D.M.Kim, S.M.Cho³⁾ 등의 선행연구를 참고로 하여 수행되었다. 각 펄스 에너지(Pulse energy) 조건에서 상대적 아크길이(Comparative Arc Length)를 변경하여, 펄스 에너지별 단락시간비 10%인 영역을 설정하고 단락주파수비, 펄스 주기의 표준편차, 단락위치(T_{ps})의 표준편차를 검토하여 One pulse one drop이 구현되는 펄스에너지 조건을 찾고, 그 조건에서 상대적 아크길이를 변경하여 단락이 해소되어 스프레이 이행이 구현되는 단락시간비 0.03%이하의 조건을 선택하였다.

Table 1 Chemical composition of Al6082(wt%)

Al	Mg	Si	Mn	Cr	Cu	Fe	Zn	Others
95.2	1.20	1.30	1.00	0.25	0.10	0.50	0.20	0.25

Table 2 Mechanical properties of Al6082-T6

Micro vickers hardness(Hv)	95~100	-
Tensile strength(MPa)	290 310	Thickness<5mm Thickness>5mm

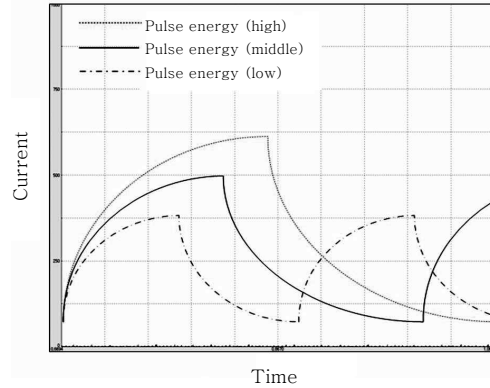


Fig. 1 Level of pulse energy in pulse waveform

Table 3 Experimental condition

Power source	Inverter MIG
Base metal	Al6082-T6
Shield gas	Ar 100%, 20l/min
Setting current	250A Pulse
CTWD	15mm
Pulse Energy	Min -5 ~ Max +5
Comparative Arc Length	Min -30 ~ Max +30

택하였다.

Fig. 1에 인버터 MIG용접기 펄스 파형의 전류 및 펄스시간의 상대적 크기를 제어하는 펄스 파라미터를 정의 하였다.

Table 3에는 One pulse one drop의 최적 스프레이 이행 조건 검토를 위한 상세 용접 조건을 나타내었다.

2.2.2 입열량에 따른 HAZ연화 및 인장특성검토 실험

앞의 실험을 통하여 얻어진 최적 펄스 조건을 사용하여 HAZ연화 특성 검토 실험을 하였다.

Table 4는 시험편 제작 조건으로 본 실험에서는 용접 속도를 변경하여 입열량을 제어하였다.

HAZ에서의 경도 변화를 관찰하기 위해 미세경도를 측정하였다.

Table 4 Experimental condition

Power source	Inverter MIG
Base metal	Al 6082-T6
Shield gas	Ar 100%, 20l/min
Setting current	250A Pulse
Welding method	I-Groove, Butt joint
CTWD	15mm
Welding speed	40, 80, 120 cm/min

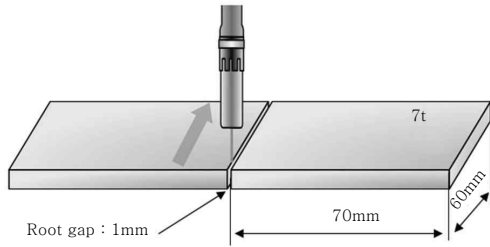
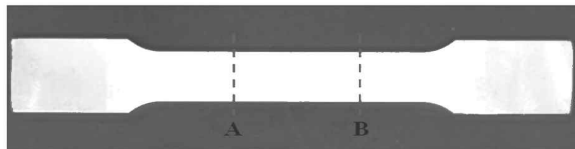
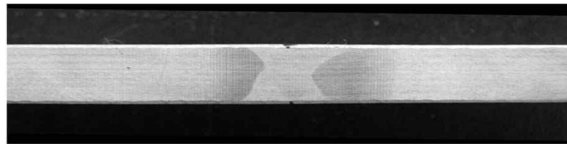


Fig. 2 Schematic of specimen butt welding



(a) Top view



(b) Front view for A to B in figure(a)

Fig. 3 Tensile specimens with transverse weld line

미세경도 측정은 시험편 표면에서 2mm위치의 퓨전 라인으로부터 모재까지 0.2mm간격으로 측정하였으며 하중조건은 100gf 이었다.

HAZ연화에 의한 강도 저하 특성을 확인하기 위하여 인장시험을 하였고, 인장시험은 용접부의 덧살을 제거한 후 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 One pulse one drop 스프레이 이행의 최적 펄스 조건 검토

Fig. 4는 단락시간 비 약 10%조건에서 펄스 에너지에 따른 단락주파수 비를 나타낸 그래프이다. 단락 주

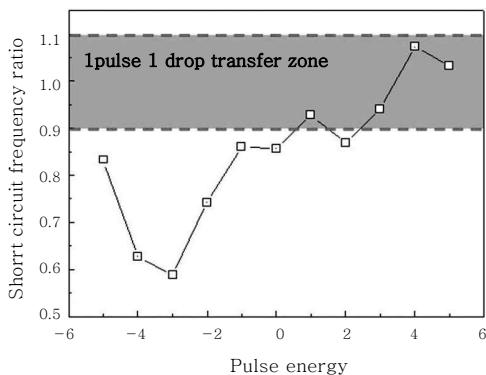


Fig. 4 Short circuit frequency ratio to pulse energy

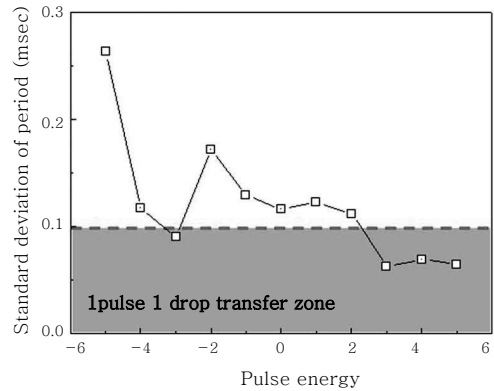


Fig. 5 Standard deviation of period to pulse energy

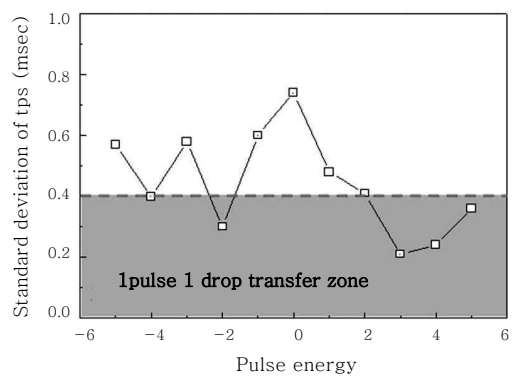


Fig. 6 Standard deviation of Tps to pulse energy

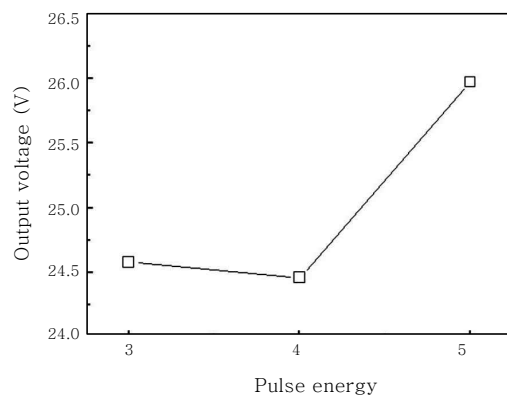


Fig. 7 Relationship between output voltage and pulse energy

파수비 1±0.1의 영역을 One pulse one drop 이행 영역으로 판단하였다.

Fig. 5와 Fig. 6은 단락시간 비 약 10%조건에서 펄스 에너지에 따른 펄스주기의 표준편차 및 Tps의 표준편차를 나타낸 그래프이다. One pulse one drop 이행 영역은 각각 0.1, 0.4이하로 판단하였다.

세 가지 판단 지표를 모두 만족하는 펄스 에너지 조건은 +3, +4, +5였다.

Fig. 7은 상대적인 아크길이를 증가시켜 단락시간비가 0.03%이하가 되어 단락이 해소 되는 아크길이에서의 출력전압을 나타낸 그래프이다.

펄스 에너지 +4, 상대적인 아크길이 -2조건에서 출력전압이 24.46V로 최소값을 가졌다.

3.2 입열량에 따른 HAZ 연화특성

3.2.1 입열량에 따른 미세 조직

Fig. 8은 각 용접 속도에서의 HAZ 미세조직을 관찰한 사진이다.

Fig. 8에서 보이는 검은 점들은 Al6082-T6 합금의 주 석출상인 β 상(Mg_2Si)로 판단되며¹⁾ HAZ에서는 그 양이 현저히 감소한 것을 확인할 수 있다.

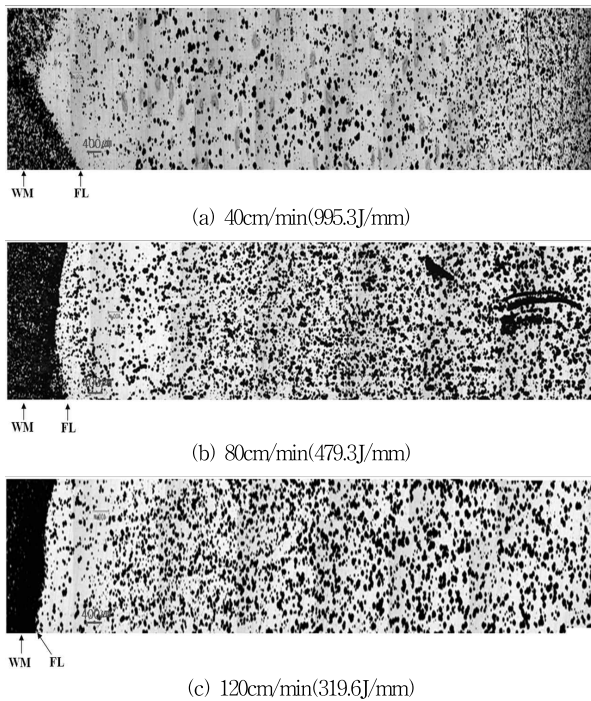


Fig. 8 Microstructure of HAZ

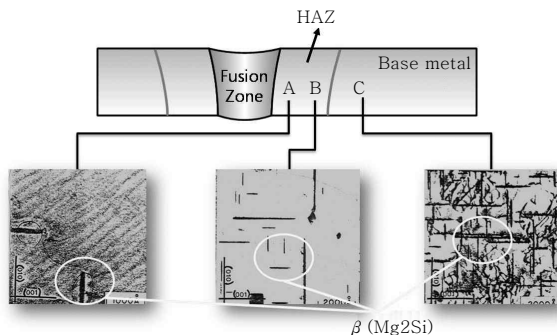


Fig. 9 Microstructure of Mg_2Si according to Weld- ment location

이것은 Fig. 9에 나타낸 바와 같이⁴⁾ 접합부 가까운 영역 A에서는 시효온도($170^{\circ}C \sim 200^{\circ}C$) 이상으로 가열되어 β 상이 분해되어 양이 적고 영역 A로 부터 좀 더 떨어진 영역 B에서는 분해의 정도가 다소 작고 영역 C는 모재부로서 미세한 β 상이 조밀하게 분산되어 있음을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서 입열량을 크게 한 Fig. 8 (a)에서는 접합부 근방의 석출물 Mg_2Si 는 현저히 조대화 된 것을 알 수 있다.

한편 용접속도를 증가시켜 입열량을 감소시킨 Fig. 8(b), (c)에서는 석출물의 조대화 영역이 현저히 감소 되는 특징을 보였다.

3.2.2 입열량에 따른 HAZ 미세경도

동일한 용접 전류 및 전압 조건에서 용접속도를 40cm/min, 80cm/min, 120cm/min으로 변경할 때, 입열량은 995.3J/mm, 479.3J/mm, 319.6J/mm로 감소하였다.

Fig. 10은 각 용접속도에 따라 접합부에서 모재까지의 미세 경도 변화를 나타낸 그림이다.

모재의 평균경도 95Hv에 대해 HAZ의 최소경도는 용접속도 40CPM의 경우는 50Hv(47%감소)로서 HAZ의 폭은 약18mm, 80CPM에서는 HAZ의 최소경도 61Hv(36%감소)로서 폭은 약12mm이었으며, 120CPM에서는 67Hv(29%감소)로서 폭은 6mm정도이었고, 용접속도가 증가하여 입열량이 감소 될수록 최소경도는 높아지는 경향을 보였다.

Rakesh Kumar 등의 두께 1mm 박판 알루미늄 합금에 대한 연구에서도 입열량이 0.36J/mm, 19.13J/mm, 16.92J/mm로 감소할수록 경도범위는 80~90Hv, 80~90Hv, 90~100Hv로 증가하는 경향을 나타내었다²⁾.

P.M.G.P. Moreira등의 3mm두께의 Al6082-T6에 대한 연구에서 MIG용접부에 대한 미세경도시험결과 경도값은 50Hv ~ 90Hv의 분포 범위를 가졌고 최소 경도 값은 HAZ에서 관찰 되었다⁵⁾.

모재 두께 3mm에 대해 용접속도 70CPM으로 용접한 Moreira등의 연구에서는 최소 경도값이 50Hv 까지 저하 되었다. 이것은 그들이 실험한 용접속도가 본 연구의 80CPM보다 낮기 때문에 냉각속도가 느려져 경도 저하가 심해진 것으로 판단된다.

M. Ericson등의 마찰교반용접을 사용한 연구에서도 용접 속도가 증가 할수록 최소 경도값이 증가하는 결과를 확인 할 수 있다⁶⁾.

경도의 최소값은 용접부 사이드에서 얻어 졌으며 이러한 결과는 L.E. Svensson등의 마찰교반용접을 사용

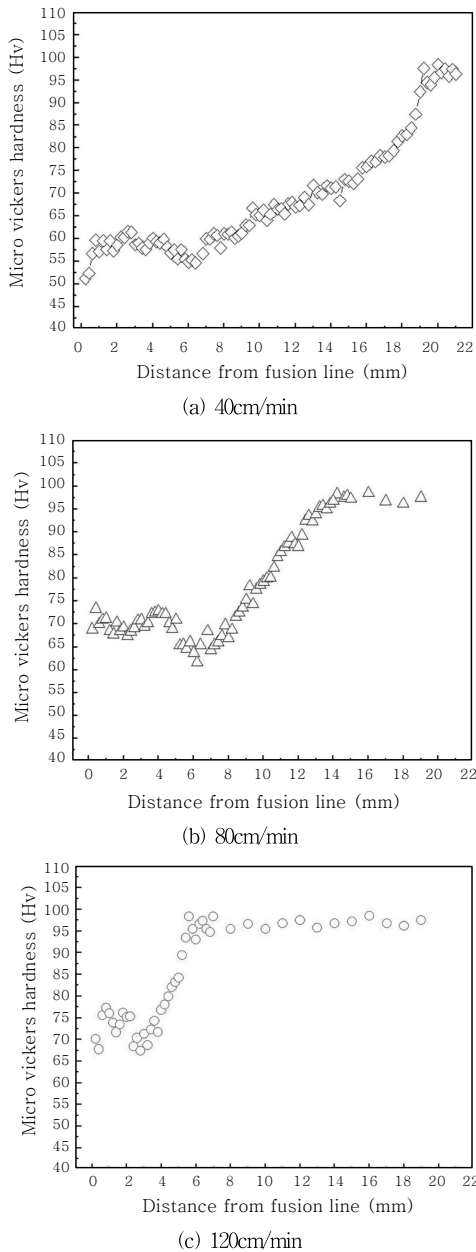


Fig. 10 Distribution of micro vickers hardness at various welding speed

한 연구에서도 나타났다⁷⁾.

A. Scialpi의 연구에서는 용접부의 경도는 모재의 35%정도의 연화가 발생하였다고 보고되었다⁸⁾.

본 연구에서도 용접속도를 증가시켜 냉각속도를 빠르게 한 경우가 Fig. 8에서 나타난 바와 같이 석출물의 분해가 방지되어, Fig. 9와 같이 좁은 열영향부를 나타내며 열영향부의 경도도 더욱 높은 값을 나타냄을 알 수 있었다.

3.2.3 입열량에 따른 인장특성

Fig. 11에는 각 용접 속도에 따른 인장시험 결과로

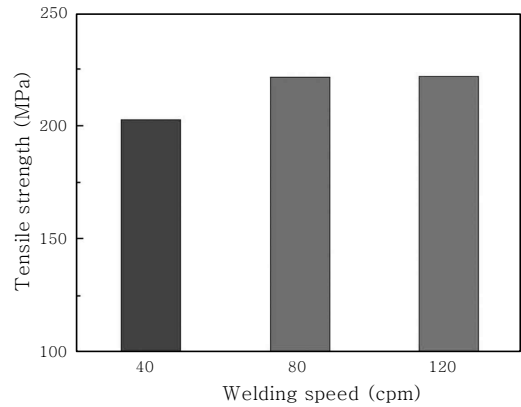


Fig. 11 Result of tensile test

서 용접 속도가 증가할 때, 인장강도가 증가하며 앞에서 관찰한 경도측정 결과와 동일한 경향을 나타내었다. 40cm/min의 경우는 202.6MPa (35%감소), 80cm/min 이상의 용접속도에서는 221MPa (29%감소)로 80cm/min 이상의 고속 용접에서는 약 10% 정도 향상된 인장강도를 확보할 수 있었다.

인장시험 결과로 보아 80cm/min이상의 고속 용접에서는 HAZ연화의 정도를 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 12는 각 인장시험편의 파단후의 형상을 나타낸 그림이다.

인장파단 시험편의 측면 관찰 결과 40cm/min의 조건에서는 용접금속에서 상당히 떨어진 곳에서 파단하였지만, 이 경우는 HAZ가 18mm정도로 매우 넓게 형성되었기 때문에 파단위치는 HAZ중심에서 약간 모재쪽으로 치우친 곳으로 보인다. 한편, 80CPM과 120CPM

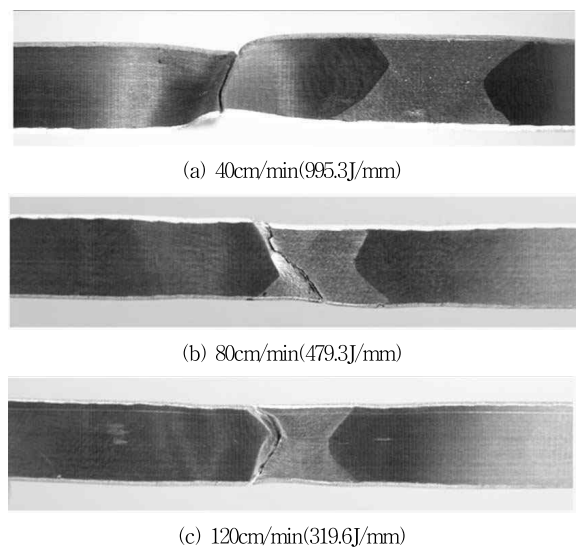


Fig. 12 Specimens after tensile test(t7.0mm)

의 조건에서는 HAZ의 최저경도와 강도가 상대적으로 덜 떨어져 용접금속에 가까운 HAZ부에서 파단이 최초로 생긴 것으로 보인다. 실제 알루미늄 용접구조물에서는 비드의 덧살이 있기 때문에 그 보강효과와 토우부의 응력집중효과로 인해 HAZ의 최소경도가 용접이음부의 강도를 보다 크게 지배할 것으로 판단된다.

따라서 같은 두께의 모재를 용접하면서 HAZ의 경도 저하가 심하지 않도록 하기 위해서는 높은 전류로 고속 용접하는 방법이 바람직하다.

4. 결 론

Al6082-T6의 MIG용접에서 입열량에 따른 열 영향부의 연화와 인장특성에 관한 연구를 통하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1) HAZ는 모재경도인 95Hv에 비해서 용접속도 40cm/min의 경우 최저경도는 47% 감소하였고, 연화부 폭은 18mm이었지만, 80cm/min과 120cm/min의 고속용접에서는 최저경도는 36%, 29%감소하였고, 연화부 폭은 12mm, 6mm로 감소하였다.

2) HAZ 연화의 원인 규명을 위해 조직관찰 결과 HAZ에 있던 석출물이 분해된 것을 확인하였다. 이는 Al6082-T6 합금이 용접되는 동안 HAZ가 석출상의 용해온도보다 높은 온도로 가열되었기 때문으로 사료된다.

3) 맞대기용접 시편의 인장시험 결과, 용접속도 40cm/min에서의 인장 강도는 202.6MPa로 모재인장강도 310MPa의 약 65%수준이었으나 용접속도 80cm/min, 120cm/min의 고속 용접에서는 약 221MPa로 모재강도의 71%정도로 거의 일정하였다.

4) HAZ의 연화가 심하지 않도록 하여 Al6082-T6의 맞대기 이음 용접부의 인장강도 저하를 완화하기 위해서는 고속용접을 하여 HAZ의 폭이 좁으면서도 최저경도가 지나치게 낮아지지 않도록 하는 것이 바람직하다.

참 고 문 헌

1. Rakesh Kumar, Ulrich Dilthey, D.K. Dwivedi, P.K. Gosh : Thin sheet of Al6082 alloy by Ac pulse-GMA and Ac wave pulse-GMA welding ; Materials and Design 30 (2009), 306-313
2. Rakesh Kumar, Ulrich Dilthey, D.K. Dwivedi, S.P. Sharmar P.K. Gosh : Welding of thin sheet Al alloy (6082) by using Vario wire DC P-GMAW ; Int J Adv Manuf Technol 42 (2009), 102-117
3. D.M.Kim, S.M.Cho : A decision method of the pulse waveform for perfect spray transfer with 1 pulse 1 drop in MIG welding of stainless steel. Proceeding of KWS, 45 (2005), 258-261 (in Korean)
4. Sindo Kou : Welding Metallurgy Second Edition ; 359-362
5. P.M.G.P.Moreira, P.M.S.T. de Castro, M.A.V. de Figueiredo : Fatigue behavior of FSW and MIG weldments for two aluminum alloys ; Theoretical and Applied Fracture Mechanics 48 (2007), 169-177
6. M. Ericsson, R. Sandström : Influence of welding speed on the fatigue of friction stir welds, and comparison with MIG and TIG ; International Journal of Fatigue 25 (2003), 1379-1387
7. L.E. Svensson, L. Karlsson, H. Larsson, B. Karlsson, M. Fazzini, J. Karlsson, : Microstructure and mechanical properties of friction stir welded aluminium alloys with special reference to AA 5083 and AA 6082, Science and Technology of Welding & Joining 5 (2000), 285-96
8. A. Scialpi, L.A.C. De Filippis, P. Cavaliere : Influence of shoulder geometry on micro structure and mechanical properties of friction stir welded 6082 aluminium alloy ; Materials and Design 28 (2007), 1124-129