



工學碩士 學位論文

A16082-T6의 MIG용접에서 입열량에 따른 열영향부 연화와 인장특성에 관한 연구



2010年 2月

釜慶大學校 大學院

조선시스템관리공학협동과정

朴敬道

工學碩士 學位論文

Al6082-T6의 MIG용접에서 입열량에 따른 열영향부의 연화와 인장특성에 관한 연구

指導教授 趙 相 明



2010年 2月

釜慶大學校 大學阮

조선시스템관리공학협동과정

朴 敬 道

朴敬道의 工學碩士 學位論文으로 認准함

2010年 2月



목 차

Abstract	1
제 1 장 서 론	2
1.1 연구배경 및 필요성	2
1.2 연구목적 및 개요	3
제 2 장 이론적 배경	4
2.1 Al 과 그 합금	4
2.2 Al 합금의 용접 특성	7
2.3 MIG 용접	9
2.4 Al 6082-T6	15
2.5 Al6082-T6 강도의 역학적 거동	17
2.6 Al MIG용접에서의 HAZ연화현상	18
3	
제 3 장 펄스파라미터 변경에 따른 One pulse one drop최적스프레이	
이행 조건 검토	19
3.1 서언	19
3.2 실험 재료 및 방법	20
3.2.1 실험 재료	20
3.2.2 실험 방법	21
3.3 실험 결과 및 고찰	23
3.4 결언	26

제 4 장 입열량에 따른 용접부 경도분포특성 검토	27
4.1 서언	27
4.2 실험 재료 및 방법	28
4.2.1 실험 재료	28
4.2.2 실험 방법	28
4.3 실험 결과 및 고찰	30
4.4 결언	34



A study on Tensile properties and HAZ softening according to change Heat input in MIG Welding of Al6082-T6

Kyung-Do, Park

Department of Shipbuilding Systems Management Engineering, Graduate School, Pukyong National University

Abstract

Al6082-T6 is widely used because of its corrosion resistance and excellent strength. HAZ softening is occurred in MIG welding process for aluminium alloys because it was heated to higher temperature than its aging temperature during welding. Therefore low heat input and minimum standard deviation of heat input is required for narrow HAZ width and, for higher strength of welds. But, there are not enough study for these relations. In this study, Al6082-T6 was used to examination for HAZ softening with various heat input in aluminium MIG welding. For weldments, micro hardness was measured and tensile test was carried out. Consequently, we could assess the HAZ softening and tensile properties according to heat input quantitatively. Minimum hardness was increased at high speed welding such as 80CPM and 120CPM, tensile strength of weldments was increased about 10% comparing with low speed welding(40CPM).

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

제 1장 서론

1.1 연구 배경 및 필요성

알루미늄 합금 Al 6082-T6는 최근에 개발되어 북유럽 등의 선진국에서 는 그 뛰어난 해양 내식성과 우수한 강도로 인하여 해양구조물의 헬리데 크(Helideck), 타워 갱웨이(Tower gangway), 알루미늄 피팅류(Aluminium fitting)등의 해양구조물과 플랫폼(Flatform), 알루미늄 래더(Aluminium ladder)등의 선박부품, 차량, 기계부품 분야에서 전 세계적으로 널리 사용 되기 시작하였다.

Al6082-T6의 MIG용접시 용접열영향부(HAZ)의 강도가 모재에 비해 지 나치게 떨어지는 연화현상이 발생한다.³⁾⁴⁾ 이러한 연화현상은 T6열처리합 금에서 나타나는 현상으로 170~200℃범위의 온도에서 인공 시효처리 된 합금이 용접되는 동안 시효 온도 이상으로 가열 되면서 강도 확보를 위해 석출되었던 석출물들이 분해 및 조대화 되면서 발생하는 현상이다.

따라서 좁은 HAZ영역과 HAZ의 강도를 확보하기 위해 낮은 입열량을 사용하고 그 표준편차를 최소로 하는 기술이 요구되지만 그와 관련된 기초 연구가 부족한 실정이다.



Fig. 1.1 Application of Al 6082-T6 in offshore structure

1.2 연구목적 및 개요

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

시효경화 알루미늄 합금 Al6082-T6에 대한 MIG I-그루브 맞대기 용접에서 입열 량에 따른 HAZ연화특성 검토를 위하여 각 용접 속도에 대해 퓨젼 라인 에서 모재까지 0.2mm간격으로 미세 경도 측정을 하였고, HAZ의 미세조 직 관찰 및 인장시험을 하였다.

제 2 장 이론적 배경

2.1 Al 과 그 합금

2.1.1 Al 합금의 특성 및 분류

Al합금의 비중은 철강의 약 1/3 정도로 상대적으로 높은 비강도를 가 지므로 중량경감의 목적으로 항공기, 선박, 차량 등의 운송기기, 건축, 토 목등의 분야에 구조용재로 널리 사용되고 있다. 그리고 다른 경량화 재료 에 비하여 경재성이 높고, 환경보호의 관점에서 재활용성 등도 우수하므 로 판, 전선, 형재 등 각종의 형상으로 재조하는 것이 가능하다.

SNIVE

많은 알루미늄 합금이 개발되었으며 용접이 가능한 합금을 구별하는 것 은 중요하다. 알루미늄협회 (Aluminium Association, Inc., AA)에 의해 4 자리의 숫자의 시스템이 개발 되었으며 가공용 알루미늄 합금 종류를 나 타내기 위해 ASTM에 의해 채택 되었다. UNS 기호는 AA수 앞에 A9를 더한 기호로 알려져 있으며, 이러한 합금체계를 Table 2.1에 나타내었다.

주요 합금원소	표기법	특징
Al 순도 99% 이상	1xxx	전기 화학산업 적용
Cu	2xxx	높은 강도, 나쁜 내식성
Mn	3777	열처리 되지 않음
14111	JXXX	Mn 함유량 1.5% 로 제한
C:	4	열처리 되지 않음
SI	4XXX	Si 녹는점 감소
Ma	F	냉간 가공 되지 않음
Mg	DXXX	우수한 용접성, 내식성
Ma Ci	C	열처리 가능
Mg,51	bxxx	우수한 내식성
Zn	7xxx	높은 강도
나머지 원소들	8xxx	

Table 2.1 System of Al alloy

2.1.2 조질 기호 시스템

알루미늄협회와 ASTM은 가공용과 주조용 알루미늄 합금에 사용되는 조 질기호 시스템을 규정하고 있다. 그것은 여러 가지 조질을 생산시 처리의 순서에 근거를 두고 있다. 조질 기호를 명시하는 과정에서 합금의 기호와 하이픈(-)에 의해 분리하며 기초적인 조질 기호는 문자로 구성되어 있다. 필요시 기초적인 조질의 하위 구분은 문자 뒤에 한 개 또는 두 개의 숫자 로 나타낸다.

기초적인 조질 기호와 하위 조질 기호는 Table 2.2에 나타나져 있고 H-1, H-2, H-3 기호 다음의 숫자는 가공경화의 최종 정도를 나타낸다. 또 한 T는 항상 하나 또는 둘의 숫자가 Table 2.3과 같이 나타난다.

조질 기호	설명
F	가공한 상태 그대로
0	어닐링 처리하고 재결정 시킴; 가공 생산품의 가장 연한 기질에 적용
Н	가공경화; 추가처리에 관계없이 가공경화에 의해 강도가 증가한 제품
H-1	가공경화만 적용
H-2	가공경화 후 일부 어닐링
H-3	가공경화 후 안정화 처리
W	고용용체화처리
Т	다른 F, O, H 보다 아정한 조질을 가지도록 열처리

Table 2.2 Symbol of type of heat treatment



조질 기호	설명	
T-1	가공 공정이 이루어 지는 비교적 높은 온도에서 냉각하고, 충분히 안정한 상태로 자연 시효	
T-2	어닐링 (단, 주물용 제품)	
T-3	고용화처리하고 냉간가공	
T-4	고용화처리하고 충분히 안정한 상태로 자연시효	
T-5	가공 공정이 이루어지는 비교적 높은 온도에서 냉각하고 인공시효	
T-6	고용화처리하고 인공시효	
T-7	고용화처리하고 안정화처리	
T-8	고용화처리하고 열처리, 냉간가공 후 인공시효	
T-9	고용화처리하고 인공시효. 냉간가공	
T-10	가공 공정이 이루어지는 비교적 높은 온도에서 냉각하고, 인공시효한 다음 냉간가공	

Table 2.3 Classification of symbol T

일반적인 조질기호는 열영향부의 금속의 특성을 변화시 킬 수 있으므로 용접에서 중요한 의미를 갖는다. H, W, 또는 T 기호에서 용접시 주의해 야 한다.

2.2 Al 합금의 용접 특성

알루미늄은 용접시 강의 용접에 비해 많은 다른 특성을 가지고 있다. 이것들은

- 1) 알루미늄 산화물의 표면 코팅
- 2) 높은 열전도도
- 3) 높은 열팽창 계수
- 4) 녹는점 근처의 온도에서의 색깔 변화가 없음

알루미늄은 활성화 급속으로 공기 중 산소와 반응하여 표면에 단단한 박막의 산화물을 생성한다. 알루미늄의 산화물의 녹는점은 대략 1926℃ (3600°F)로써 순수한 알루미늄의 녹는점인 660℃(1220°F)의 거의 3배가 된 다. 이 알루미늄 산화물 박막은 두꺼워지면 공기로부터 수분을 흡수한다. 수분은 알루미늄 용접에서 기공을 야기시키는 수소의 원인이 된다. 알루 미늄 산화물 막은 용접전 반드시 제거 되어야 한다. 산화물의 제거는 화 학적, 전기적, 기계적 방법으로 제거 시킬수 있다. 산화물 박막은 즉시 재 형성되기 시작하지만 형성시간은 그렇게 빠르지 않다. 따라서 우수한 용 접을 위해 알루미늄이 깨끗이 된 후 적어도 8시간 이내에 용접이 되어야 한다.

K. Masubuchi⁵⁾의 연구(Fig. 2.1)에 의하면 알루미늄의 전도도는 합금에 따라 강보다 3~5배정도 빠르다. 이것은 알루미늄의 녹는 온도가 강에 비 해 반도 안되지만 더 많은 열이 알루미늄 용접에 필요하다는 것을 의미한 다. 열전도도가 높기 때문에 두꺼운 단면의 용접에 예열이 필요하다. 만약 온도가 너무 높거나 시간이 너무 길면 열처리된 합금이나 가공경화된 합 금의 용접접합의 강도에 해로운 영향을 미친다. 보통 알루미늄의 예열은 204℃(400°F)이하로 유지해야 하며, 높은 열전도도 때문에 높은 열을 투입 하는 빠른 속도의 용접법을 사용해야 한다. 열이 용접부로부터 매우 빨리 전도되어 용접부가 빠르게 응고되며 이러한 과정에서 표면에 형성되는 표 면장력에 의해서 용접금속이 제 위치에 있게 도와주고, 모든 위치에서 용 접이 가능하게 한다.

알루미늄의 열팽창률은 강의 두 배이다. 게다가 알루미늄 용접은 용융상 태에서 응고시 약 6%의 부피가 감소하며, 따라서 이는 치수의 변화나 치 수변화에 의해 뒤틀림 변형이나 균열이 발생하기도 한다.



Fig. 2.1 Thermal conductivity of aluminum and steel

2.3 MIG 용접

2.3.1 MIG용접의 원리

GMAW(Gas Metal Arc Welding)는 소모성 전극을 사용하는 방법으로 서 용가재로 작용하는 와이어를 일정한 속도(Wire Feeding Rate)로 용융 지에 송급 하면서 전류를 통하여 와이어와 모재 사이에서 아크가 발생하 도록 하는 용접법이다.

이 용접법은 사용되는 보호가스의 종류에 따라 분류되고 있는데, Ar과 같은 불활성 가스를 사용하는 경우를 MIG(Metal Inert Gas)용접이라고 한다.

MIG용접은 MIG전원장치에 소모성 전극와이어를 일정한 속도로 용융 지에 송급하면서 전류를 통하여 와이어와 모재 사이에서 아크가 발생하도 록 하는 용접법이다.

Fig. 2.2에서와 같이 연속적으로 공급되는 와이어는 높은 아크열에 의해 서 용융되어 모재로 이행하게 되며, 아크 기둥과 용융 부위는 가스노즐을 통해 공급되는 보호가스(Shielding Gas)에 의해 주위의 대기로부터 보호 된다.





2.3.2 MIG 용접에서의 이행모드

GMAW에 있어서 용적이행이란 와이어에서 용융된 금속이 용융지로 이 행하는 현상을 말하는 것으로 단순히 금속이행(Metal transfer)이라고 도 한다. 용적 이행은 용접재료, 보호가스, 용접조건 등에 따라 여러 가지 형 태로 나타난다. Table2.4는 국제 용접학회(IIW)에서 분류하고 있는 용적 이행 형태를 나타낸 표이다. GMAW에서 용적이 이행하는 현상은 크게 2 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째로 와이어 선단에서 생성된 용적이 와이 어로부터 이탈되어 금속방울 상태로 아크기둥을 거쳐 용융지로 이동하는 형태로서 자유비행이라 한다. 이것은 다시 이행하는 용적크기에 따라 입 상용적 이행과 스프레이 이행으로 나눌 수 있다. 두 번째는 와이어선단에 서 형성된 용적이 용융지와 접촉하여 가교(bridging)를 형성하여 이행하는 형태인데, 이 때 전기적인 단락이 발생하기 때문에 단락이행이라 한다.

Ar가스를 주성분으로 하는 MIG 용접에서는 용접전류가 증가함에 따라 특정전류에서 용적의 크기가 급격히 변화한다. 이러한 전류를 천이전류하 고 하고, 용접전류가 천이전류 보다 낮을 때는 입상 용적 이행이 일어나 고, 천이전류 이상일 때는 용적의 크기가 와이어 직경과 비슷하거나 작은 용적이 초당 수백회 정도의 횟수로 이행하는 현상이 일어난다. 이러한 형 태를 스프레이 이행이라고 한다. 스프레이 이행은 전류의 크기에 따라 프 로젝티드 이행, 스트리밍 이행, 로테이팅 이행으로 나누게 되는데, 프로젝 티드 이행은 천이전류 직상의 범위에서 나타나는 이행으로 용적의 크기는 와이어의 직경과 비슷하고, 아크는 매우 안정적 이면서도 소음이 적 다.(Fig 2.4)

Fig.2.5은 프로젝트 이행일 때의 아크현상과 용적이행에 대해서 나타낸 것이다.

이행형태명(TransferType)	나타나는 용접법
1. 자유 이행(Free Flight)	중대전류FCAW
1.1입상용적(Globular)이행	
(1) 낙하(drop)이행	저전류GMAW
(2) 반발(Repelled)이행	중대전류CO2용접
1.2 스프레이(Spray)이행	
(1) 프로젝티드(Projected)이행	중간전류MAG,MIG
(2) 스트리밍(Streaming)이행	중대전류MAG,MIG
(3) 로테이트(Rotating)이행	대전류MAG,MIG
1.3 폭발 이행	SMAW
9 고란 이체(Dridaina)	
2. 교덕 이영(bridging) 2.1 다란(Short Circuit)이해	거리르CMAW
2.1 번덕(Short Circuit) 기정	지신규에서
2.2 한국 표락 위행	110-57 / 11/2/
3. 슬래그 보호 이행(Slag-Protected)	
3.1 먹번(Wall)이행	SAW
3.2 기타 모드	SMAW,FCAW,Electroslag용섭

Table 2.4 The classification of transfer of moten metal (IIW)



Fig. 2.4 Arc phenomena and transfer of droplet at projected transfer

2.3.3 Pulse MIG 용접

MIG 용접에서 pulse를 사용하는 이유는 CW(Continious Welding)용접 에 비해서 상대적으로 낮은 전류에서 안정적인 스프레이 이행을 가능하게 할 수 있다는 장점이 있다.

낮은 전류 영역에서는 와이어가 용융풀과 접촉하는 단락이 발생하고, 단 락을 해소하기 위하여 상대적으로 높은 피크전류가 발생되고 아크 재점호 시, 다량의 스패터가 발생(Fig. 2.6)하기 때문에, 단락이 일어나지 않는 스 프레이 이행의 구현이 아주 중요하다.

펄스 용접에서 가장 이상적인 이행의 One pulse one drop 즉 1개의 펄 스 주기에서 1개의 용적이 모재로 이행되는 것이다(Fig.2.7)





Fig. 2.6 Schematic of Short circuit and Arc reignition spatter



2.4 Al 6082-T6

Al 6082-T6는 Al-Si-Mg가 주성분(Table 2.5)이며, T6의 열처리는 용체화 처리후 인공시효를 시키는 방법이다. 알루미늄 합금 Al6082-T6는 최근에 개발되어 북유럽 등의 선진국에서는 그 뛰어난 해양 내식성과 우수한 강 도로 인하여 해양구조물의 헬리덱크(Helideck), 타워 갱웨이(Tower gangway), 알루미늄 피팅류(Aluminium fitting)등의 해양구조물과 플랫폼 (Flatform), 알루미늄 래더(Aluminium ladder)등의 선박부품, 차량, 기계부 품 분야에서 전 세계적으로 널리 사용되기 시작하였다. P.M.G.P. Moreira⁶⁾등의 연구에 따르면 MIG용접시 일반적으로 사용되고 있는 Al6061-T6에 비해 Al6082-T6는 그 HAZ항복강도가 약 13%가량 높다고 나타났다. 따라서 선진국의 해양구조물과 선박분야에 확대 적용되고 있는 실정이다(Fig.2.8, Table2.7). Table 2.6에는 Al6082-T6의 주요 기계적 성질 을 나타내었다.

Table 2.5 Main chemical composition of the 6082 aluminium alloys (wt%)

Alloy	Si	Mg	Mn	Fe	Cr
6082	1.05	0.80	0.680	0.260	0.010
		OL			

Table	2.6	Monotonic	mechanical	properties	of	the	T6	heat	treated	6082
		alumir	nium allovs							

Aluminium alloy	6082
Tensile strength, σ_{UTS} (MPa)	330
Yield strength, $\sigma_{\rm YS}$ (MPa)	307
Elongation, ε_r (%)	9
Young`s modulus, E (GPa)	70



Fig. 2.8 Micro hardness profiles of the MIG welded Al6061-T6 and Al6082-T6 specimens.

 Table 2.7 Material properties for welded specimens,

 data acquired in tensile tests

A.	Yield strength σ _{YS} (MPa)	Tensile strength σ _{UTS} (MPa)
MIG 6082-T6	176.8	210.0
MIG 6061-T6	156.3	221.2
FSW 6082-T6	140.5	226.1
FSW 6061-T6	158.7	241.5

2.5 Al6082-T6 강도의 역학적 거동

Al6082-T6합금은 6082알루미늄 합금을 용체화 처리 한 후 급냉을 하여 과포화 고용체를 형성 시킨 후 인공시효처리를 한 합금으로 열처리시 온 도 저하에 따라 준안정상인 β석출물(Mg₂Si)의 고용도가 감소하여 석출경 화를 일으킨다.

Fig. 2.9는 Al6082-T6의 강도에 대한 역학적 거동을 나타낸 모식도이다.



2.6 Al MIG용접에서의 HAZ연화현상

Al6082-T6의 MIG용접시 용접열영향부(HAZ)의 강도가 모재에 비해 지 나치게 떨어지는 연화현상이 발생한다. 이러한 연화현상은 T6열처리합금 에서 나타나는 현상으로 인공 시효처리 된 합금이 용접되는 동안 시효 온 도 이상으로 가열 되면서 강도 확보를 위해 석출되었던 석출물들이 분해 및 조대화 되면서 발생하는 현상이다.

Fig.2.10은 알루미늄 합금의 T6열처리 방법을 나타낸 그림이다.



Fig. 2.10 Method of artificial heattreatment for Al6082-T6

제 3 장 펄스파라미터 변경에 따른 One pulse one drop최적 스프레이 이행 조건 검토

3.1 서언

본 장에서는 Al MIG 용접에서 펄스 에너지와 상대적 아크길이를 변경 하여 안정적인 One pulse one drop조건을 가지는 펄스 파라미터를 결정 하기 위하여 용접 전류 및 전압을 측정하여 펄스 용접 파형을 분석하였 다.



3.2 실험 재료 및 방법

3.2.1 실험 재료

본 실험에서는 길이 120mm x 폭 50mm x 두께 7mm의 Al 6082-T6와 Φ1.2mm Al 5356 wire (ER5356)를 사용하여 Inverter MIG 용접기와 6축 다관절 용접 로봇을 사용하여 Bead on plate 용접을 하였다. 용접 파형의 계측에는 Monitech HI-WELD 계측 장비가 사용 되었으며 계측 주파수는 7500Hz로 하였다. Fig. 3.1과 Fig. 3.2에 실험에 사용된 용접기와 로봇의 사진을 나타내었다.



3.2.2 실험 방법

D.M.Kim, S.M.Cho⁷⁾등의 선행연구를 참고하여 펄스 에너지와 상대적 아크길이를 변경하였다. 각 펄스 에너지 설정 후 단락시간 비10%인 파형 을 획득 후 확인 하고, One pulse one drop이 구현되는 펄스 에너지조건 에서 상대적 아크길이를 증가 하여 단락 시간비 0.03% 이하의 One pulse one drop 최적 스프레이 이행 조건을 결정 하였다.

Fig. 3.3은 One pulse one drop 완전 스프레이 이행조건 결정 방법을 나타낸 그림이다.



Fig. 3.3 A decision method of the pulse waveform for perfect spray transfer with 1pulse 1drop





One pulse one drop이행의 판단 지표로 단락 주파수, T_{PS}의 표준편차 그리고 펄스 주기의 표준편차 세 가지를 사용하였다.

판단 지표에 대한 기준은 단락주파수는 1±0.1, T_{PS}의 표준편차는 0.1ms 이하, 펄스 주기의 표준편차는 0.4ms이하로 하였다.

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

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

Table 3.1 Experimental condition

3.3 실험 결과 및 고찰

각 펄스 에너지 조건에서 상대적 아크길이 변경하여 단락시간비가 10% 의 파형이 Fig. 3.5에 나타나져 있다. 펄스 에너지가 -5에서 +5로 증가 할 수록 규칙적으로 단락이 발생하여 One pulse one drop의 파형에 가까워 지는 것을 볼 수 있다.



Fig. 3.5 Current and voltage waveforms by adjusting comparative arc length after setting Pulse energy (250A, Short circuit ratio 10%)

Fig. 3.6은 단락시간 비 10%조건에서 각 펄스에너지에 따른 단락주파수 비를 나타낸 그래프이다.

Fig. 3.7, Fig. 3.8은 단락시간 비 약10%인 조건에서 펄스 에너지에 따른 펄스주기의 표준편차 및 Tps의 표준편차를 나타낸 그래프이다.

단락주파수 비, 펄스주기 표준편차, Tps 표준편차를 모두 만족하는 조 건을 One pulse one drop 이행조건으로 판단하였다.



Fig. 3.7 Standard deviation of period to pulse energy



Fig. 3.8 Standard deviation of Tps to pulse energy

Fig. 3.9에는 One pulse one drop이행 구현되는 펄스 에너지 조건에서 상대적 아크길이를 증가시켜 단락시간비가 0.03%이하가 되는 최소전압을 그래프로 나타 내었다. 이때 펄스 에너지 +4가 스프레이이행 최소전압 24.64V로 가장 낮게 형성 되었다.

Fig. 3.10은 One pulse one drop이행 구현되는 각 펄스 에너지 조건에 서의 출력 전압을 나타낸 그래프이다.

One pulse one drop이 구현되면서 최소 전압을 가지는 최적 조건은 펄 스 에너지+4에서 상대적 아크길이-2 조건이다.



Fig. 3.9 Current and voltage waveforms to pulse energy below short circuit ratio 0.03% (pulse energy:+4, comparative arc length :-2)



Fig. 3.10 Output Voltage to pulse energy

3.4 결언

펄스파라미터 변경에 따른 One pulse one drop최적스프레이 이행 조 건 검토결과 다음의 결론을 얻었다.

 펄스 에너지와 상대적 아크길이를 조절하여, 단락시간비 10%의 조건을 설정 하였을 때, 펄스에너지가 증가 할수록 비교적 규칙적인 단락 파형을 얻을 수 있었다.

2) One pulse one drop 펄스 파형 결정 후 아크길이를 증가하여 단락시간
비 0.03%이하의 조건에서 용접 전압 측정 결과 펄스 에너지 +4, 상대적
아크길이 -2의 조건에서 최소 전압이 되는 최적 조건을 찾을 수 있었다.



제 4 장 입열량에 따른 용접부 경도분포특성 검토

4.1 서언

본 장에서는 Al MIG 용접에서 입열량에 따른 용접부의 연화특성 검토 를 위하여 용접시의 용접 전류 및 전압을 측정하고 시험편의 퓨전라인에 서부터 모재까지의 미세경도 측정 및 미세조직을 검토하였다.



4.2 실험 재료 및 방법

4.2.1 실험 재료

본 실험은 길이 70mm x 폭 60mmx 두께 7mm의 Al 6082-T6와 Φ 1.2mm Al 5356 wire (ER5356)를 사용하였고, Inverter MIG용접기와 6축 다관절 용접 로봇을 사용하여 용접하였다.

4.2.2 실험방법

미세경도 측정은 시험편 표면에서 2mm위치의 퓨젼 라인으로부터 모재 까지 0.2mm간격으로 측정하였고 이때의 하중조건은 100gf였다. 미세조직 관찰 역시 퓨전라인에서 모재까지 관찰 하였다.

Table 4.1은 미세경도 측정 시험편제작을 위한 용접 조건을 나타내었다. 용접속도를 40, 80, 120CPM으로 변경하여 입열량을 변경하였다.

Tuble at Esper	
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 CPM

Table 4.1 Experimental condition

Fig. 4.1은 시험편 제작을 위한 맞대기 용접 모식도를 나타내었다.



4.3 실험 결과 및 고찰

Fig. 4.2에는 용접속도와 입열량 사이의 상관관계를 나타내었다. 용접 속도가 증가함에 따라 입열량은 감소하는 경향을 나타내었다.



11 10

Fig. 4.3에는 각 용접속도에서 퓨전라인에서 모재까지의 미세 경도 변화를 나타내었다.



Fig. 4.3 Distribution of micro vickers hardness at various welding speed

경도의 최소값은 입열량이 가장 큰 40CPM에서 약 50Hv로 확인되었고, 입열량이 증가 할수록 최소 경도는 증가함을 확인 하였다.

Rakesh Kumar등의 연구에서도 입열량이 증가 할수록 경도는 감소하는 경향을 가지는 것이 확인 되었다.

Moreira등의 3mm두께의 Al 6082-T6에 대한 연구에서 MIG용접부에 대한 미세경도시험결과 경도값은 50Hv ~ 90Hv의 분포 범위를 가졌고 최소 경도 값은 HAZ에서 관찰 되었다.

Moreira등의 연구에서는 70CPM의 빠른 용접 속도임에도 불구하고 최소 경도값이 50Hv 까지 저하 되었다. 이것은 시험편의 두께가 3mm로 얇기 때 문에 2차원 열전도로 인한 용접부의 느린 냉각속도에 의한 현상으로 판단 된다.

M. Ericson⁸⁾등의 4mm두께의 FSW에 대한 연구에서도 용접 속도가 증가 할수록 최소 경도값이 증가하는 결과를 확인 할 수 있다.

Ericson등의 연구에서 MIG용접과 TIG용접의 비교결과 MIG용접의 입열 량은 0.46kJ/mm이고 TIG용접의 입열량은 2.4kJ/mm로 입열량의 차이는 굉 장히 크지만 연화정도는 비슷한 결과를 확인 할 수 있다. 이것은 TIG프로세 스는 모재로 투여되는 열효율이 낮기 때문에 발생하는 현상으로 판단된다.

경도의 최소값은 용접부 사이드에서 얻어 졌으며 이러한 결과는 L.E. Svensson⁹⁾등의 연구에서도 나타났다.

A. Scialpi¹⁰의 연구에서는 용접부의 경도는 모재의 35%정도의 연화가 발 생하였다고 보고되었다. 본 연구에서는 모재 경도 95Hv의 약 40%정도의 연화가 발생하였다. Fig. 4.4는 각 용접 속도에서의 HAZ 미세조직을 관찰한 사진이다.
Fig. 4.4에서 보이는 검은 점들은 Al 6082-T6 합금내부의 석출물로 판단되
며 HAZ에서는 그 양이 현저히 감소한 것을 확인 할 수 있다.

이러한 석출물들의 분해에 의해 HAZ에서의 경도 및 강도가 저하되는 것 이다.



(c) 120CPM(319.6J/mm)

Fig. 4.4 Microstructure of HAZ

Grazyna Mrowka-Nowotnik¹¹⁾등의 연구에서도 유사한 경향의 결과를 확 인할 수 있다.

용접 속도가 증가 할수록 석출물이 분해 된 영역은 감소하였으며 80CPM 이상의 고속 용접에서는 그 폭이 현저하게 감소하는 것을 확인 하였다.

4.4 결언

입열량에 따른 용접부 경도분포특성 검토 결과 다음의 결론을 얻었다.

 HAZ의 미세경도 측정 결과, 용접 중에 가열 된 HAZ의 경도는 연화 로 인해 모재경도인 95Hv보다 약 40%정도 감소하였고, 80CPM과 120CPM
 의 고속 용접에서는 용접부 최소경도값이 증가 하였고, 연화부 폭은 현저 하게 감소하였다.

2) HAZ영역의 미세조직 관찰 결과, HAZ에서의 석출물들이 분해된 것을 확인 하였다. 이는 Al6082-T6 합금이 용접되는 동안 시효온도인 170~20 0℃보다 높은 온도로 가열되면서 합금내부의 석출물들이 분해 및 조대화 되기 때문이다.

ot il

제 5 장 입열량에 따른 용접부 인장 특성 검토

5.1 서언

본 장에서는 Al MIG 용접에서 용접부의 연화가 용접물에 미치는 영향 을 검토하기 위하여 시험편을 맞대기 용접 한 후 각 시험편에 대해 인장 시험을 수행하여 입열량에 따른 인장강도를 검토 하였다.



5.2 실험 재료 및 방법

5.2.1 실험 재료

본 실험에서는 길이 150mm x 폭 80mmx 두께 7mm의 Al6082-T6와 Φ1.2mm Al 5356 wire (ER5356)를 사용하였고, Inverter MI G용접기와 6축 다관절 용접 로봇을 사용하여 용접하였다.

5.2.2 실험방법

인장시험은 KS B 0801규격에 따라 수행 하였으며 시험편은 규격의 13 호 시험편을 사용 하여 용접부 덧살을 제거 한 후 수행 하였다.

Table 4.1은 인장 시험편제작을 위한 용접 조건을 나타내었다. 앞장과 동일하게 용접속도를 40, 80, 120CPM으로 변경하여 입열량을 변경하였다.

	1. 1.
Power source	Inverter MIG
Base metal	AI 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 CPM

Table 4.1 Experimental condition

Fig. 5.1에는 인장시험을 위한 인장시험편의 형상을 나타내었다.







5.3 실험 결과 및 고찰

Fig. 5.2에는 각 용접 속도에 따른 인장시험 결과를 나타내었다.

용접 속도가 증가할 때, 인장강도는 증가하는 경향을 확인 하였다. 용접속 도 40CPM의 경우는 202.6MPa, 80CPM이상의 용접속도에서는 약 221MPa 로 80CPM이상의 용접속도에서는 약 10% 정도 향상 된 인장강도를 확보할 수 있었다.



Fig. 5.2 Result of tensile test

인장시험 결과로 보아 80CPM이상의 고속 용접에서는 연화의 정도를 감 소시킬 수 있을 것으로 판단된다. Fig. 5.3은 각 인장시험편의 파단후의 형상을 나타낸 그림이다.



인장시험 시 측면에서 관찰한 결과 세 조건의 인장 시험편 모두 전후면 용입 겹침부 근방의 HAZ에서 파단이 시작되었다.

이는 양면 용접으로 인하여 전후면 용입 겹침부는 2회의 가열을 받게 되고 이로 인해 이 근방의 HAZ에서는 연화의 정도가 심해져 전후면 용입 겹 침부 근방의 HAZ가 인장 시험 시 최약 링크로 작용했기 때문이라 판단된 다.

5.4 결언

입열량에 따른 용접부 인장특성 검토 결과 다음의 결론을 얻었다.

1) 용접속도 40CPM에서의 인장 강도는 202.6MPa로 모재인장강도 310MPa 의 약 65%수준이었으나 용접속도 80CPM, 120CPM의 고속 용접에서는 약 221MPa로 40CPM의 저속 용접에 비해 80CPM이상의 고속 용접에서 약 10% 증가된 인장강도를 보였다.

2) 인장시험에서 파단은 시험편 두께방향의 중심위치인 전후면 용입 겹침 부 부근의 HAZ에서 최초로 발생 하였다. 이것은 양면 용접으로 인해 전 후면 용입 겹침부 부근은 2회의 가열이 가해지고 그로 인해 그 근방의 연 화 정도가 심화되면서 전후면 용입 겹침부 영역이 시험편의 최약 링크로 작용했기 때문이다.



11 10

제 6 장 결 론

Al6082-T6의 MIG용접에서 입열량에 따른 열영향부의 연화와 인장특 성에 관한 연구 결과 다음의 결론을 얻었다.

- Al6082-T6합금에 대하여 Ø1.2의 와이어를 사용한 용접 속도 80CPM과 120CPM의 I-그루브 고속 MIG 용접에서 7mm두께의 시험편에 대해 완 전 용입을 확보 할 수 있었다.
- 2) HAZ경도 측정 결과, 용접 중에 가열 된 HAZ의 경도는 연화로 인해 모 재경도인 95Hv보다 약 40%정도 감소하였고, 80CPM과 120CPM의 고속 용접에서는 연화부 폭이 현저하게 감소하였다.
- 3) 미세조직 관찰 결과, HAZ에서의 석출물들이 분해된 것을 확인 하였다. 이는 Al6082-T6 합금이 용접되는 동안 시효온도인 170~200℃보다 높은 온도로 가열되면서 합금내부의 석출물들이 분해 및 조대화 되기 때문이 다.
- 4) 각 시험편에 대한 인장시험 결과, 용접속도 40CPM에서의 인장 강도는 202.6MPa로 모재인장강도 310MPa의 약 65%수준이었으나 용접속도 80CPM, 120CPM의 고속 용접에서는 약 221MPa로 40CPM의 저속 용접 에 비해 80CPM이상의 고속 용접에서 약 10% 증가된 인장강도를 보였 다.
- 5) 인장시험에서 파단은 시험편 두께방향의 중심위치인 전후면 용입 겹침부 부근의 HAZ에서 최초로 발생 하였다. 이것은 양면 용접으로 인해 전후 면 용입 겹침부 부근은 2회의 가열이 가해지고 그로 인해 그 근방의 연 화 정도가 심화되면서 전후면 용입 겹침부 영역이 시험편의 최약 링크로 작용했기 때문이다.

참고 문헌

- 1) 용접 접합 편람 대한 용접 학회 1998, (pp.242-256, 546-559)(in Korean)
- 2) Welding Metallugy Second Edition Sindo Kou (pp.359-362)
- 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
- 4) 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 (2009) 42 : 102-117
- K. Masubuchi, Analysis of Welded Structures: Residual Stresses, Distortion, and Their Consequences, first ed., Pergamon Press, Oxford, New York, 1980.
- 6) 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
- 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 ; (in Korean)
- 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

- 9) L.E. Svensson, L. Karlsson, H. Larsson, B. Karlsson, M. Fazzini, J. Karlsson, : Microstruc -ture 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.
- 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
- 11) Grazyna Mrowka-Nowotnik, Jan Sieniawski : Influence of heat treat -ment on the micro structure and mechanical properties of 6005 and 6082 aluminium alloys ; Journal of Materials Processing Technology 162–63 (2005) 367–72



학위과정 중 주요 학술지 게재 및 발표 논문

1. 주요 학술지 게재 논문

- (1) 백상엽, 박경도, 김원일, 조상명, Al6082-T6의 MIG용접에서 입열량에 따른 열영향부의 연화와 인장특성에 관한 연구, 대한용접접합학회지, 투고중
- 2. 학술발표대회 발표논문
- (1) 박경도, 오재환, 조상명, 凸형 스틸철강 조립에서 동 블럭 부착 I 형 맞 대기 이음에 대한 CO2용접 자동화, 대한용접.접합학회 2009년도 춘계 학술발표대회 초록집 제51권, 2009. 4, pp. 140
- (2) 박경도, 정연호, 백상엽, 오동수, 성영기, 김정표, 조상명, Al6082-T6의 MIG용접에서 입열량에 따른 열영향부의 연화와 인장특성, 대한용접접 합학회 2009년도 추계 학술발표대회 초록집 제52권, 2009. 11, pp. 143
- (3) 정연호, 박경도, 백상엽, 오동수, 성영기, 김정표, 조상명, Al 6082-T6 고속 MIG 용접에서 기공방지를 위한 용접공정 개발, 대한용접접합학회 2009년도 추계 학술발표대회 초록집 제52권, 2009. 11, pp. 8
- (4) 오동수, 백상엽, 이칠순, 황동수, 함효식, 박경도, 정연호, 조상명, GTA 용 접에서 아크 길이와 수소 혼합에 따른 에너지분포 특성, 대한용접접합학 회 2009년도 추계 학술발표대회 초록집 제52권, 2009. 11, pp. 30

감사의 글

2006년 연말에 Welding IT Lab.에 처음 들어와 아무것도 못하고 허둥 대던 때가 엊그제 같은데 벌써 3년이란 세월이 흘러 이제 졸업을 앞두고 있습니다. 3년의 연구실 생활은 아주 힘든 시간들이었지만 뒤돌아보면 제 인생에 있어서 한걸음 더 나아갈 수 있는 기반을 만든 시간이었던 것 같 습니다. 여기까지가 끝이 아니라 이제부터가 진짜 시작이라는 마음가짐으 로 용접 분야에서 세계 최고가 될 수 있도록 계속 노력하겠습니다.

우선 용접에 관해서는 무지했던 저에게 엔지니어로 발전할 수 있게 많 은 조언과 격려를 아끼지 않으셨던 지도교수이신 조상명교수님께 감사의 말씀 드립니다. 특히 교수님께서는 전문 지식인으로써 지식 창출 방법과 논리적 사고 및 문제해결을 위한 접근방법의 중요성을 일깨워 주시고 그 에 대한 많은 가르침을 주셨습니다. 다시한번 머리 숙여 감사의 마음 올 립니다.

대학원 과정에서 조선에 대한 지식을 쌓을 수 있도록 많은 지도를 해주 신 김인철 교수님, 구자삼 교수님, 배동명 교수님, 이운식 교수님, 민경철 박사님께도 진심으로 감사드립니다.

연구실의 가장선배로 항상 실원들을 잘 챙겨주신 오동수, 고명훈 선배 님, 지금은 산업전선에서 그 능력을 발휘하고 계신 추용수, 고찬식, 고미 혜, 조진안, 윤승종, 김대만, 이정현, 문영덕, 추환수, 김성덕, 박인기, 황규 민, 윤영현, 김효원선배님 항상 친형제처럼 대해 주신 점에 대해 감사의 마음을 전합니다. 특히 연구실에서 제 사수로써 부족한 저를 이끌면서 제 가 이 자리에 올 때 까지 많은 도움 주신 배광무 선배님께 감사의 마음 전합니다.

아직 연구실자리를 지키고 계시는 몇 달후 애기 아빠가 되시는 박사과 정의 함효식 선배님, 때론 동기로 때론 형으로 많은 조언과 상담을 해준 임성빈, 김성호, 정연호, 하종문님께도 고맙다는 말 전하고 싶습니다. 이제 우리의 빈자리를 채워나갈 석사 1년차 이하 학부생들, RA로 힘들어하면서 도 맡은 일을 다 쳐내는 서지석, 학과조교와 연구실생활을 동시에 하고 있 는 신희섭, 심심하면 덤벼대는 손창희군, 김남규군, 아카데미 후계자 전재호 군, 마리오의 천적 변재규군, 언제나 착각 속에 빠져서 재미있게 살아가고 있는 마리오 이지은양에게도 고마움을 전합니다. 그리고 마지막으로 연구 실원들의 바쁜 업무를 대신해 주시면서 아들처럼 조카처럼 대해주신 김외 숙 비서님과 박미숙 비서님께도 감사드립니다.

마지막으로 제가 여기까지 달려올 수 있도록 묵묵히 저를 믿고 지원해 주신 부모님께 무한 감사드리며, 지금은 군인의 신분으로 추운 강원도 산 골짜기에서 고생하고 있는 하나뿐인 동생에게 감사드립니다.

