特輯 : 알루미늄 熔接

7000계열을 중심으로 한 알루미늄 합금의 용접특성(I)

박성탁* · 정재필** · 서창제***

Weldabilities of 7000 Aluminium Alloys (I)

S.T.Park*, J.P.Jung** and C.J.Suhr***

1. 서 론

고강도 알루미늄 합금은 중량이 가벼우면서 인장강도와 항복강도가 높고 가공 성, 성형성이 좋아 항공기, 자동차, 선박등 수송용 재료로 각광을 받고 있으며, 이 중 Al-Zn-Mg계(7000계) 알루미늄 합금은 용접 구조물용 경량소재로 활용범위가 높다[1].

Al-Zn-Mg계 알루미늄 합금은 고온에서 용체화처리후 저온으로 급냉시킨 재료를 자연시효 또는 인공시효처리를 하여 이 때 석출되는 시효 석출물에 의해 강도를 증가시킨 석출 경화형 합금이다.

그런데, 7000계열 알루미늄 합금은 적절한 열처리 작업을 통해 최적의 기계적 성질이 얻어지도록 합금설계가 되어있기 때문에 구조물 제작시 용접에 의한 arc 열을 받게되면 열이력(thermal cycle)에 의해 모재의 미세조직이 변화하고 용접 결함이 발생하며 강도의 약화와 함께 내식성등이 저하한다. 따라서 고강도 알루미늄 합금의 용접성을 향상시키기 위해서는 용접부의 미세조직거동과 용접부에 발생하는 용접결함의 현상을 조사하여 용접용 고강도 합금에 필수적으로 요구되는 용접성에 대한 검토가 충분히 이루어져야 한다.

따라서 본 고에서는 알루미늄 합금, 특히 7000계열 알루미늄 합금에 주목하여, 용접방법, 각종 결함과 대책, 용접부의 시효경화와 응력부식균열 및 기계적 성질등을 지금까지 보고된 각종 자료를 기초로 하여 3회에 걸쳐 기술하고자 한다.

2. 모 재

전술한 바와 같이 7000계 합금은 Zn과 Mg을 주요 첨가 원소로 한 시효경화형 高力합금으로 최근에 용접구조용 알루미늄 합금으로 수요가 증가하고 있는데, Table 1-4에 7000계 합금의 화학성분, 용도 및 특성, 물리적, 기계적 특성을 나타내었다. 7000계 합금중 Zn을 주요 첨가 원소로 하고 Mg와 Cu및 소량의 Cr을 함유한 7075합금은 알루미늄 합금중 가장 높은 강도를 가지고 있다.

* 학생회원, 성균관대학원 금속공학과
** 정회원, 한국기계연구원 용접연구부
*** 정회원, 성균관대학교 금속공학과

Table 1. 7000계 알루미늄 합금의 화학성분(%)

ALLOY	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn		Al
7003	0.3	0.35	0.2	0.3	0.5－1.0	0.2	5.0－6.5	Zr : 0.05 －0.25 Ti : 0.2	Bal
7N01	0.3	0.35	0.2	0.2 －0.7	1.0－2.0	0.3	4.0－5.0	Zr : 0.25 V : 0.1 Ti : 0.2	〃
7039	0.16	0.26		0.18	2.5	0.18	3.7		〃
7072	0.7	0.7	0.1	0.1	0.1	－	0.8－1.3		〃
7075	0.4	0.5	1.2 －2.0	0.3	2.1－2.9	0.18 －0.28	5.1－6.1	Zr＋Ti 0.25	〃
7076	0.4	0.6	0.3 －1.0	0.3 －0.8	1.2－2.0	－	7.0－8.0	Ti 0.2	〃
7277	0.5	0.7	0.8 －1.7	－	1.7－2.3	0.18 －0.35	3.7－4.3	Ti 0.1	〃

Table 2. 7000계 알루미늄 합금의 특성 및 용도

합금	내식성	응력 부식 균열 감수성	냉간 가공성	절삭성	용접성		적 용 예
					Arc	Spot & Seam	
7001	C	C	D	B	D	B	중구조물
7005	B	B	C	A	B	B	내식성을 요하는 중구조물
7049	C	B	D	B	C	B	항공기 부품
7050	C	B	D	B	C	B	항공기 및 기타 구조물
7075	C	C	D	B	C	B	〃
7178	C	C	D	B	C	B	〃
7179	C	C	D	B	D	B	항공기의 구조용부품
7405	C	B	D	B	C	B	〃

(A : Excellent B : Good C : Fair D : Poor)

Table 3. 7000계 알루미늄 합금의 물리적 성질

합 금	비 중	용해 온도 범위 (℃)	전 도 율 (20℃) (IACS, %)	열 전 도 도 (25℃) (cgs)
7003－75	2.8	615 － 650	37	0.36
7072－0	2.72	646 － 657	59	0.53
7075－76	2.8	476 － 638	33	0.31
7178－76	2.81	477 － 629	31	0.3
7N01－76	2.78	615 － 650	36	0.33

Table 4. 7000계 알루미늄 합금의 기계적 성질

합 금	인장 강도 (kgf/mm²)	항복 강도 (kgf/mm²)	연 신 율 (%)	전단 강도 (kgf/mm²)	피로 강도 (kgf/mm²)
7005-T6	37.2	31.5	12	21.4	12.5
7650-T736	51.5	45.5	11	-	24.0
7075-T6	57.0	50.5	11	33.0	16.0
7175-T736	52.5	45.5	14	29.0	16.0
7475-T61	52.5	46.0	12	-	-

3. 용접 방법

본 절에서는 7000계열 Al합금의 용접특성을 본격적으로 논의하기에 앞서, Al합금의 일반적인 용접방법에 대해서 기술하고자 한다.

3.1 불활성 gas arc 용접

불활성 gas arc 용접이란 용접부가 대기중의 산소나 수증기에 의해 산화되거나 기공이 형성되는 것을 방지하기 위해 전극주위를 Ar이나 He등의

Table.5 Al용접에 이용되고 있는 TIG 및 MIG 용접

용접 방법		극성	용입	cleaning 작용	특징
T I G	교류 TIG	AC	비교적 얕다	있다	1. 기공 발생이 MIG용접에 비해 적다. 2. spatter의 발생이 없으므로 bead표면이 양호 3. 박판 혹은 pipe등의 용접이 용이 4. 국부적인 보수 용접에 적합 5. 열집중의 저하로 변형 발생이 크다.
	DCSP -TIG	전극 (-)	깊고 폭이 좁은 bead	없다	1. 용입이 깊기 때문에 박판에서 후판까지의 용접이 가능 2. 용입이 균일하므로 변형 발생이 적다. 3. backing을 사용하면 비교적 후판까지의 편면(片面) 용접이 가능 4. cleaning작용이 없기 때문에 산화피막의 제거등 전처리에 시간을 요한다. 5. pulse전류를 사용함으로써 전자세 용접이 가능
	DCRP -TIG	전극 (+)	얕고 폭이 넓은 bead	있다	용입이 얕고, 박판이나 stainless강재의 용접에 한정
M I G	CONVEN -TIONAL MIG	DCRP	교류 TIG 보다 깊다	있다	1. 교류TIG에 비해 용입이 깊고 용착량이 많다. 2. 자동주행장치를 병용(併用)함으로써 후판까지의 전자세 자동용접이 가능 3. 반자동에서도 torch조작이 간편하고 복잡한 형상이나 소형 용접물의 용접이 가능
	대전류 MIG	DCRP	깊다	있다	1. 이중nozzle등의 특수한 torch에 의해 고전류(400-1000A)사용이 가능하며, 용입이 깊고 용착량이 많다. 2. 후판을 적은 pass로 용접할수 있다. 3. 보통, 全자동으로 대형 용접물에 이용 4. 용접불량률이 적다. 5. 변형 및 기공발생이 적다. 6. 용접장치(전원, torch등)의 cost가 높다. 7. 용융pool이 크기 때문에 하향자세로 한정된다.
	Pulse MIG	DCRP	교류 TIG보다 높다	있다	1. pulse전류를 사용함으로써 저전류에서도 안정한 용적 안정한 용적이행이 가능 2. 박판 용접에 적합

불활성 gas로 보호하며 arc를 점호하는 용접법을 말한다. 이 방법은 Al뿐만 아니라 stainless강, 동 및 Ti등의 금속재료에도 적용되고 있다. arc의 내부에서는 불활성 gas인 Ar이나 He이 해리되어 plasma가 형성된다. Al용접에 이용되는 TIG 및 MIG용접은 극성 및 전류의 대소에 따라 Table 5와 같이 분류된다.

일반적으로 TIG용접은 사용하는 전원 및 극성에 따라 직류 정극성 용접(DCSP, 모재 +, 전극 −), 직류 역극성 용접(DCRP, 모재 −, 전극 +) 및 교류용접으로 분류되는데, Al합금의 TIG용접의 경우에는 주로 cleaning작용과 tungsten 전극의 허용 전류치를 고려하여 보통 교류용접이 이용된다. 전극은 순 W이나 Th-W이 사용되며 전극의 소모량 감소, arc의 안정성 및 용접 작업상 향상을 위해 Ca_2O_2나 CeO_2를 첨가한 W전극도 사용되고 있다[2~4].

MIG용접은 통상 DCRP의 극성이 이용되고 DCSP 혹은 AC는 거의 이용되지 않는다. 그 이유들로는 1) 용적의 이행 형태가 spray형으로 되며 결함이 적은 양호한 bead가 얻어진다. 2) cleaning작용에 의해 Al합금의 모재 표면이 청징해 진다. 3) arc 자신에 고유의 自己制御 작용이 있고, arc 길이가 일정하게 되기 쉽기 때문이다.

3.2 기타 용접법

Al용접에 널리 이용되고 있는 TIG 및 MIG용접법을 제외한 나머지 용접법에 대해서는 Table 6-

Table 6. Al용접에 이용되고 있는 용융 용접

energy원	열入力	기계적入力	분위기	용접방법	특징, 적용예
전기	arc	없 다	불활성 gas	TIG용접	비교적 박판, 용접이 연속되지 않는 경우
				MIG용접	중후판, 용접이 연속하여 긴 경우
		압 력	대 기	stud용접	stud와 대상물과의 사이에 아크를 발생시켜 적당한 온도에 달할때 이것을 용착시키는 용접. bolt, pin등의 용착에 사용
	flash			flashbutt 용접	이륜차, 사륜차등의 wheel rim,rail의 용접에 이용
	전기 저항			spot 용접	철도차량, 항공기등 광범위한 분야에 이용
				seam 용접	원판전극을 회전시키면서 가압 및 통전을 하고 이음매를 따라 연속적으로 nugget을 겹치게 용접하는 것. Al제철도차량의 지붕재에 이용
				upsetbutt 용접	끝면을 맞대어 가압 통전하고 접촉면 및 재료자체의 저항 발열에 의해 가열하며 최후에 압력을 크게하여 용접하는 방법. 봉, 선의 접합부에 이용
	Ee*	없 다	진 공	전자 beam용접	항공기 rocket부품에 이용
	복사		대 기	laser 용접	Al에서는 절단의 형식으로 실용화
	plasma		불활성 gas	plasma 용접	용접뿐만 아니라, PTA법으로 표면개질에도 이용

(Ee*: 전자의 운동에너지)

8[5]에 간략하게 소개하였다.

Table.7 Al용접에 이용되고 있는 고상 용접

energy원	열入力	기계적入力	분위기	용접방법	특징, 적용예
전 기	복사	압력, 변형	대기	열간압접	용접부재의 단부를 가열하고 압력을 가해 실시하는 용접. brazing sheet 나 Al-clad재의 제조에 이용
		압 력	진공 혹은 불활성 gas	확산용접	일종의 열간압점이며 특징은 모재를 용융시키지 않고 변형이 적은 점에 있으며, 특수금속, 소결합금, 이종금속의 용접, 특히 집합체의 조립용접에 적용
	유도전류에의 한저항과 arc		대기	고주파 용 접	유도된 고주파의 표피효과를 이용하여 용접. 고주파 유도용접, 고주파 저항용접, 고주파 유전 용접이 있다
화 학		폭발압력 변 형		폭발용접	화약의 폭발에 의한 충격E를 이용하여 금속을 접합하는 방법. Al과 강, Ti등의 이종금속과의 접합에 이용되며 이들 clad재나 transition joint (이재접합부)등의 제조에 이용. 화약의 폭발 진행제어가 중요
기 계	마 찰	압력, 변형		마찰용접	마찰열과 가압을 이용한 용접. Al합금외에 Al과 이종금속의 용접, 봉,관의 용접에 이용.
	초음파 진 동	압 력		초음파 용 접	모재를 음극사이에 지지하고 가압하면서 초음파 진동을 주어 실시하는 용접. 이종금속이나 판두께가 다른 금속의 겹치기 접합에 적합. 점저항용접으로는 불가능한 것의 용접에 이용
	없 다	압력, 변형		냉간압접	외부로부터 열이나 전류를 가하지 않고 연성재료의 경계부를 상온에서 강하게 압축하여 접합면을 국부적으로 소성변형시켜서 압접하는 방법. 비철금속의 용접에 널리 이용. 접합면은 이물질이나 기름 페인트등이 부착되어 있지 않는 깨끗한 면이어야 한다.

Table. 8 Al접합에 이용되는 Brazing 방법

energy원	열入力	기계적入力	분 위 기	Brazing방법	특징 적용예
전기	arc	없다	불활성	TIG brazing	Al과 이종 금속의 접합
	전도, 저항		flux	DIP brazing	용융된 금속 또는 Brazing 작업온도로 가열용융된 화학 약품중에 납접할 부재를 침지하여 행하는 납접. 주로 각종 대형 열교환기 용접에 이용
	복사		대 기 flux	노내 brazing	이음매에 미리 경납을 삽입 시키고 flux를 도포하든가 또는 노내를 flux와 같은 작용을 하는 분위기를 유지하면서 노내에서 가열하여 시행하는 경납법. 노내 온도조절이 자유롭기 때문에 품질의 균일화가 가능하고 비교적 작은 부품에 적합
			진 공	진공 brazing	flux를 사용하지 않으며 각종 열교환기의 용접에 이용
			불활성 gas	불활성 gas 분위기 brazing	VAW법이라 부르고, 각종 열교환기의 조립에 적용, 분위기 gas는 주로 노점을 −60℃ 이하로 제어한 질소
	전도	초음파	용융 solder	초음파 soldering	대상물의 산화피막을 파괴하여 활성면을 노출시킴으로써 연납의 젖음현상을 일으키게 하여 이루어지는 연납법. 전자 공업등에 있어 flux에 대한 오염이나 부식이 일어나서는 안되는 곳에 사용
화학	gas염	없 다	대기 flux	torch brazing	납점이음매에 flux를 도포한 후 torch로 가열하면서 경납을 첨가해 시행되는 경납접
		마 찰	대 기	마 찰 brazing	flux를 사용하지 않고 행하는 분할 주조품의 soldering
		없 다	flux	반 응 soldering	염화 아연의 flux로부터 환원 석출되는 아연을 용접봉으로 사용하는 soldering

참 고 문 헌

1. 内田彰：最近の熔接構造用アルミニウム合金,溶接技術(1986. 2) 19～25
2. 送傳,牛尾：第101回 溶接法研究委員會資料(SW－1575－85), 同 第106回(SW－1686－96)
3. 坂部,三田：同 第106回(SW－1710－86)
4. 日向,井川,安田：輕金屬溶接, 26(1988),553
5. 今泉重威,薙野雅三,奥藤勝：輕金屬,30(1980), 736