

경량구조용 AI 합금의 아크용접 및 레이저용접

박 화 순

Arc and Laser Welding of Al Alloys for the Transportation Applications

Hwa-Soon Park

1. 서 언

수송기기는 고속화, 대량수송 등의 효율화를 위하여 다양한 연구개발이 이루어져 왔으며, 수송기기의 기본적인 기능의 비약적인 진전은 실로 대단하다고 할 수 있다. 그러나 최근에는 인류의 생활환경뿐만 아니라, 지구전체의 환경문제가 크게 주목을 받고 있다. 그러므로 자동차·차량·선박 등의 수송기기에 대한 「경량화 기술」은 상기와 같은 문제점을 해결하는 중요한 기술 과제가 되어 있다. 수송기기의 경량화는 재료의 선택이 큰 역할을 하고 있으며, 그 재료를 활용하고 또한 구조물의 품질, 신뢰성, 안전성을 확보하는 것은 더욱 중요하다고 할 수 있다. 따라서 이들 경량화 재료의 올바른 선택과 함께, 그에 대한 제조프로세스가 확립되지 않으면 안된다.

AI 및 그 합금은 철강재료와 비교하여 저비중(低比重), 고비강도(高比強度)이며, 또한 가공성과 내식성이 우수하므로, 다종·다양한 공업제품에 사용되고 있다. 이 중에서도 특히 저비중·고비강도라는 특징은 중요하며, 구조물의 경량화의 관점으로부터 항공기, 자동차, 철도차량, 선박 등의 수송기기의 구조용재료 또는 그 일부로서 지금까지 널리 적용되고 있다. 또한 AI은 자원의 재활용성 면에 있어서도 우수하다는 특징이 있으며, 더욱이 이상과 같은 구조물의 경량화에 대한 사회적 요구 및 경량구조재료로서의 AI의 우수한 특성에 의하여, 이들 구조물의 「알루미늄화」가 한층 더 진행되는 현상을 나타내고 있다¹⁻⁵⁾.

이들 경량화구조용 재료로서의 AI 합금의 용접법으로서 아크용접이 그 주류를 이루어 왔다고 볼 수 있다. 또한 이들 재료의 용접에 있어서, 용접 입열이 적고, 용접변형이 적으며, 고능률 및 고(高)제어성이라는 특징을 가진 레이저용접의 사용에 대한 가능성이

새롭게 주목을 받고 있다. 이러한 레이저용접의 적용에 대한 관심의 제고는 최근의 레이저장치의 현저한 발전에 의한 바가 크다고 할 수 있으며, 따라서 앞으로 많은 연구가 이루어질 것으로 기대된다. 그러므로 본고에서는, 이하 경량화용 재료로서의 AI 합금에 대한 아크용접 및 레이저용접의 적용 현상과 문제점, 그리고 그 대책 및 앞으로의 과제에 대하여 기술한다.

2. AI 합금의 아크용접

2.1 용접부의 특징

AI 합금은 서론에서도 일부 언급한 바와 같이, 저비중(철의 약 1/3), 고비강도(高比強度), 가공성 및 내식성 양호, 저온에서의 기계적성질의 안정성, 완전 비자성 등의 특징을 가지고 있다. 그러나 이러한 AI 합금에 용접을 적용하게 되면, 높은 열전도도, 큰 비열 및 용융잠열로 인하여 용접이 낮음에도 불구하고 국부적으로 용융시키는 것이 곤란하며, 다량의 입열을 급속히 공급해야 한다는 단점을 가지고 있다. 또한 이와 같은 성질로 인하여 용접에 의한 열영향을 받기 쉽고, 따라서 열처리합금이나 가공경화재의 경우에는 연화, 내식성저하, 조립화 등의 기계적성질이 저하할 우려가 있다.

그리고 산화피막은 제거가 곤란하여 용합을 저해할 수 있으며, 대단히 산화되기 쉽기 때문에 Ar, He 등의 불활성가스를 사용하여 용접 중 용융지를 충분히 실드하여야 한다. 또한 수화(水和)산화피막은 용접 중 분해하여 수소에 의한 기공발생의 원인이 된다.

그리고 선팅창계수와 응고수축률이 크기 때문에 용접 변형이 발생하기 쉽고, 따라서 응고균열감수성이 크다.

참고로 시판 AI 합금의 인장강도, 용접성, 내식성 및 가공성을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 시판 Al 합금의 인장강도, 용접성, 내 SCC성 및 가공성

System	Alloy	Tensile strength(MPa)							Weldability	Resistance for SCC	Formability
		100	200	300	400	500	600	700			
Al	A1100	● 0	○ H18						◎	◎	◎
Al-Mn	A3003	● 0	○ H18						◎	◎	◎
	A3004		● 0	○ H38					◎	◎	◎
Al-Mg -(Mn)	A5005	● 0	○ H38						×(◎)	◎	◎
	A5052	● 0	○ H38						○(◎)	◎	◎
	A5454		● 0	○ H34					○(◎)	◎	◎
	A5083			● 0	○ H321				◎	○	○
	A5056			● 0	○ H38				◎	×	○
Al-Mg -Si	A6063	● 0		○ T832					×(◎)	◎	◎
	A6061	● 0		○ T6					×(○)	◎	○
Al-Cu -(Mg)	A2219	● 0		○ T87					○(○)	×	×
	A2014	● 0		○ T6					×	×	×
	A2024	● 0		○ T361					×	×	×
Al-Zn- Mg-(Cu)	A7003			○ T5					×(○)	○	◎
	A7N01		T4 ○ ○ ○	T5, T6					×(○)	○	○
	A7075	● 0		○ T6					×	×	×
	A7178	● 0		○ T6					×	×	×

Table 1에서 5083보다 고강도의 Al 합금에는 2017, 2219, 2024, 6061, 7N01, 7003, 7075 등이 있는데, 모두 열처리형합금이다. 그러나 이들 합금 중에서 2219와 7N01 및 7003 이외의 합금은 모두 그 용접성에 있어서 용접부의 응고균열감수성이 현저하게 높고, 따라서 용융용접은 대단히 곤란한 것으로 알려져 있다^{6~8)}. 보통의 열처리형합금인 2000, 6000 및 Cu를 포함하는 7000계 합금에서는 상온시효성은 없으나 시효처리재를 용융용접하면, 용접부의 강도는 현저하게 저하하며, 강도회복을 위해서는 다시 한번 용체화처리→수냉처리→시효처리가 필요하게 된다. 그러므로 이와 같은 처리를 대형구조물에 적용하는 것은 곤란하다. 이러한 관점에서 보았을 때 Al-Zn-Mg

3원계 합금은 용접구조용재료로서 우수한 특성을 가지고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 응고균열 감수성은 5083보다 대단히 높고, 따라서 용접성의 관점으로부터는 현저하게 떨어진다.

2.2 아크 용접법과 그 적용

Table 2는 차량, 선박 및 일반 용도에 대한 Al 합금의 아크용접법의 적용 상황을 나타내었다⁹⁾. 차량, 선박 등의 경량화 구조재의 Al 합금에 대한 아크 용접은 주로 MIG와 TIG가 사용되고 있으며, 그 외의 방법은 거의 사용되고 있지 않다. 중공박육형재가 주로 사용되고 있는 차량의 경우에는, 소입열, 변형의 저감화의

Table 2 Al 합금에 대한 아크용접의 적용 현상

용접법		차 량	선 박	일반용도	장 점	단 점	비 고
TIG	AC	△* (2~3)**	○ (3~40)	◎ (2~10)	고품질	저능률 열변형 大	박·중판 (10mm판두께)전용
	DCSP -He	-	-	○ (0.5~2)	고능률 열변형 小	그루브전	전처리에 주의
MIG	DC	-	◎ (5~40)	◎ (3~40)	고능률 열변형은AC GTAW보다 小	spatter 多	중·후판용
	Pulse	◎ (2~20)	○ (3~6)	◎ (1~10)	spatter 小		박·중판
	AC	-	-	△ (0.5~1)	spatter 小 fume 小		박판 전용
Plasma Arc	AC	-	-	△ (1~10)	고속도 열변형 小	적정용접 조건범위가 좁다	중판까지

*◎ : 많이 사용, ○ : 사용, △ : 일부사용, - : 사용하지 않음 ** () : 적용 판두께

관점으로부터 펄스 MIG 용접이 주로 사용되고 있다. 그리고 중, 후판이 주로 사용되고 있는 선박의 경우는, 중판에서는 변형 저감의 관점으로부터 펄스 MIG가, 후판의 경우에는 고능률화의 관점으로부터 직류 MIG 용접이 일부 사용되고 있다. 교류 TIG 용접은 차량이나 선박 모두 MIG 용접이 곤란한 부분에 보조적으로 사용되는 경우가 대부분이다. 일반 용도에서도 교류 TIG, 직류 MIG 및 펄스 MIG 등 대체로 동일한 용접법이 적용되고 있다. 이밖에 교류 MIG 용접이 판두께 1mm 전후의 박판에 적용이 되고 있으며, 고능률, 소변형의 관점으로부터 직류 TIG 용접이 적용되고 있다. 한편 플라즈마아크용접은 중판까지 적용이 가능하지만, 아직 그다지 많이 적용하고 있지 않다.

그리고 Table 3에 구조용재료로서 대표적인 AI 합금 용접부의 인장 특성¹⁰⁾을 나타내었다.

2.3 아크용접 적용의 과제와 대책

2.3.1 용접법에 따른 적용 판두께의 제한성

AI 합금의 용접에는 주로 MIG 용접이 사용되고 있으나, 안전한 용접을 하기 위해서는 임계전류치 이상

의 전류가 필요하다. 따라서 직류 MIG 용접에서는 3~4mm(t), 펄스 MIG 용접에서는 약 2mm(t) 정도까지 용접이 가능하다.

그러나 자동차용의 경우에는, 1mm 전후의 극박판의 아크용접이 필요하며, 이에 대한 용접법으로는, 인버터 전원을 이용한 서로 다른 두 개의 유니트 펄스를 변환하는 방식의 중주파중첩 저주파펄스 MIG 용접, 펄스 유니트와 직류를 절환하는 방식의 중주파중첩 저주파펄스 MIG 용접, 교류 MIG 용접법 등이 있다^{11, 12)}.

2.3.2 용접부의 변형

AI 합금은 열팽창계수가 크기 때문에 용접부의 변형이 발생하기 쉽고, 따라서 변형을 제거하는 공정이 큰 비중을 차지하고 있다. 따라서 이러한 용접변형의 억제에는 AI 합금의 용접에서 중요한 과제 중의 하나이다. AI 합금의 용접변형을 억제하기 위해서는, 크게 용접변형의 경감 및 교정으로 나눌 수 있다.

먼저 용접변형의 경감은, 용접설계에서는 용접선의 감소, 시공법에서는 용접법, 입열, 용접순서, 적층법 등을 충분히 고려하여야 한다¹³⁾.

용접부에서 발생한 변형을 제거하는 용접변형의 교

Table 3 대표적인 AI 합금의 맞대기이음부의 인장성질

합금	형상	두께 (mm)	질별	용접방법	용가재	비드의 돌출유무	인장강도(kgf/mm ²)		접합 효율	파단 위치			
							인장강도	내력					
5052	판	4~10	0	MIG	5536	유	20.2	9.6	99.0	HAZ			
							20.0	9.2	98.0				
		6	H32	"	5356	유	21.7	14.0	88.2				
							21.7	13.0	88.2				
	3.6	H34	"	5356	유	22.3	13.2	86.1					
19.1						10.0	98.4						
형재	6	H112	MIG	5356	유	19.0	9.2	97.9	HAZ				
5086	형재	4.3~5	H112	MIG	5356	유	28.0	13.0	97.0	HAZ			
							26.0	13.0	90.0		W.M		
5083	판	4~8	0	MIG	5183	유	30.7	15.1	97.8	HAZ			
							28.6	14.0	91.1		W.M		
		4~4	"	5556	유	33.0	17.0	93.0	HAZ				
	6					H32	"	5356	유	30.0	15.5	92.0	HAZ
		29.1	14.6	89.3									
형재	5	H112	MIG	5356	유	19.7	13.4	70.9	HAZ				
6N01	형재	3~6	T5	MIG	5356	유	19.7	12.0	70.9	HAZ			
							19.7	12.0	70.9				
7N01	판	6~10	T4	MIG	5356	유	34.3	22.8	97.4	HAZ			
							6	T6	"		5356	유	34.1
	형재	5~10	T5	MIG	5356	유				34.0			24.6
7003	형재	3~6	T5	MIG	5356	유	31.8	22.1	90.9	HAZ			
							5183	유	29.8		19.2	85.1	W.M

정은, 크게 가열법과 기계적인 방법을 들 수 있다. 가열법에서는 주로 가열냉각법과 가열가압법을 사용하는데, 가공경화재에 대해서는 과열에 의한 강도저하나 재질의 열화가 일어나지 않도록 온도관리를 하여야 한다. 기계적방법으로는 주로 충격 또는 정적인 힘을 이용하는데, 재료에 흠이 가지 않도록 유의하여야 한다.

2.3.3 기공의 발생과 억제

Al은 액체와 고체의 수소용해도차가 크기 때문에, 용융용접에서는 수소에 의한 기공이 발생하기 쉽다. 이러한 기공을 방지하기 위해서는, 기본적으로 용접 중의 용융지를 실드해야 하며, 용융지에 용해한 수소가스가 방출되기 쉬운 시공조건을 선정하여야 한다. 그러므로 전신재의 경우에는 규격 등의 시공조건을 지키면, 대체로 기공은 방지할 수 있다.

그러나, Al 합금 주물의 경우에는, 주물자체에 수소가 내부결함으로써 기공을 형성하고 있기 때문에, 용접부에서의 기공 발생은 피할 수 없다. 따라서 기공이 적은 주물을 선택하여야 하며, 주물 중의 수소가스 함유량이 0.5cc/g 이하일 경우에는, 주물과 주물 및 주물과 전신재의 용접에서도 전신재의 경우와 동일한 정도의 용접부를 얻을 수 있다¹⁴⁾.

또한, 저주파펄스 MIG 용접의 경우에는, 적절한 주파수범위를 사용하면, 용융지의 교반효과에 의하여 기공을 억제할 수 있다¹⁵⁾.

기공 방지에 필요한 일반적인 주의점은 다음과 같다. 위에서 언급한 바와같이, 적절한 시공법과 용접조건을 선택하는 것이 기본적으로 중요하다. 그리고 모재와 용접봉 및 와이어의 보존관리, 실드가스에 대한 주의, 그루브의 산화피막의 제거 및 보호, 용접부와 용접재료 및 용접장치와 주변기기의 흡착 수분 또는 오염물질의 제거, 습도와 바람 등의 환경관리 등에 유의하여야 한다.

2.3.4 용접부의 균열

Al 합금의 용접시에 발생하는 균열은 고온균열이다. Al 합금에서 발생하는 고온균열은 저융점의 잔류액상에 기인하는 것으로, 이것은 Al 합금의 응고수축률과 선팽창계수가 크기 때문에 인장스트레인이 크게 발생하며, 더욱이 응고온도범위가 넓기 때문에 균열이 발생하기 쉽다¹⁶⁾. 이러한 Al 합금의 고온균열에는 용접 금속에서 발생하는 응고균열과 열영향부의 액화균열이 있다. Al 합금 모재와 용접와이어의 조합에 의한 균열 감수성의 예를 Fig. 1에 나타내었다¹⁷⁾.

Al 합금의 용접균열에는 합금계에 따라서 균열이 발생하기 쉬운 합금성분이 있으며, 이들의 조성에 의한

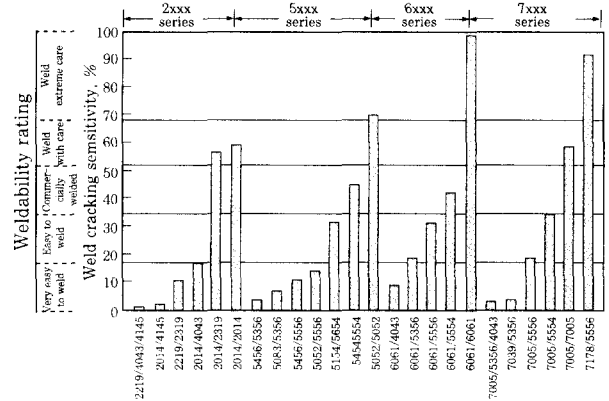


Fig. 1 Al 합금(모재/용재)의 상대적인 균열 감수성

균열감수성은 Fig. 2^{18, 19)}와 같다. 그러므로 용접금속의 성분이 균열이 발생하기 쉬운 조성이 되지 않도록 모재와 용가재의 조합을 선택하여야 하며, KS(B0879)에서는 Table 4²⁰⁾와 같이, 지침을 나타내고 있다. Table 4에 의하면, 일반적으로 널리 사용되고 있는 구조용재료에서는 적정 용접조건하에서는 용접균열의 문제는 거의 없다. 그러나 용접 입열이 과대하거나, 용접부에 큰 인장 스트레인이 발생하는 이음부에서는 균열이 발생할 수 있다.

경량화의 관점에서 보면, 고강도 Al 합금의 적용이 점차 늘어날 것으로 예상할 수 있으며, 2219를 제외한 2000 계열 합금이나, Al-Zn-Mg-Cu계 초초 듀랄루민 같은 경우에는 용접균열이 발생하기 쉽고, 아크 용접은 일반적으로 곤란하다. 또한 개발이 진행되고 있는 Al-Li계 합금은 용가재의 개발을 포함하여, 용접 균열의 발생에 대한 검토가 필요하다.

3. Al 합금의 레이저 용접

Al 합금에 대한 레이저용접의 적용은 레이저의 흡수율이 낮고, 열전도율이 높기 때문에 일반적으로 곤란

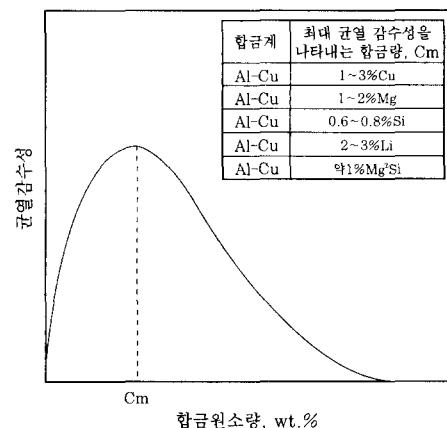


Fig. 2 Al 합금의 응고 균열감수성과 합금량의 관계

Table 4 모재의 조합에 따른 용접봉 및 용접 와이어의 선정 지침

모재 모재	AC4D	AC4C ADC12	AC7A	A7N01	A6061 A6063 A6101 A6151	A5056	A5154	A5083	A5052	A5005 A5N01	A1100 A1200 A3003 A3203	A1060 A1070
A1060 A1070	-	A4043	⁽³⁾ A4043	A4043	⁽⁴⁾ A4043	⁽⁵⁾ A5356	⁽³⁾ A4043	⁽⁵⁾ A5356	⁽⁵⁾ A4043	⁽¹⁾⁽²⁾ A1100	⁽¹⁾⁽²⁾ A1100	A1070
A1100 A1200 A3003 A3203	-	A4043	⁽³⁾ A4043	A4043	⁽⁴⁾ A4043	⁽⁵⁾ A5356	⁽³⁾ A4043	⁽⁵⁾ A5356	A4043	A4043	⁽¹⁾⁽²⁾ A1100	
A5005 A5N01	A4043	A4043	⁽²⁾⁽³⁾ A5154	⁽⁵⁾ A5356	⁽⁴⁾ A4043	⁽²⁾ A5356	⁽⁴⁾ A5356	⁽⁵⁾ A5356	A4043	A4043		
A5052	A4043	A4043	⁽⁵⁾ A5154	⁽⁵⁾ A5356	⁽⁵⁾ A5356	⁽⁵⁾ A5356	⁽⁵⁾ A5356	⁽⁵⁾ A5356	⁽⁵⁾ A5154			
A5083	-	⁽³⁾ A5356	⁽³⁾ A5356	⁽⁵⁾ A5356	⁽⁵⁾ A5356	⁽⁵⁾ A5356	⁽⁵⁾ A5356	⁽⁵⁾ A5183				
A5154	-	⁽²⁾⁽³⁾ A5356	⁽⁵⁾ A5154	⁽⁵⁾ A5356	⁽⁵⁾ A5356	⁽⁵⁾ A5356	⁽⁵⁾ A5154					
A5056	-	⁽⁵⁾ A5356	⁽⁵⁾ A5356	⁽⁵⁾ A5356	⁽⁵⁾ A5356	⁽⁵⁾ A5356						
A6061 A6063 A6101 A6151	A4043	A4043	⁽⁵⁾ A5356	⁽⁵⁾ A5356	⁽⁴⁾ A4043							
A7N01	A4043	A4043	⁽⁵⁾ A5356	⁽⁵⁾⁽⁶⁾ A5356								
AC7A	-	A4043	⁽⁵⁾ A5356									
AC4C ADC12	A4043	A4043										
AC4D	A4043											

(1) Al200을 사용하여도 좋다. (2) 경우에 따라 A4043을 사용하여도 좋다. (3) A5356, A5183 또는 A5556을 사용하여도 좋다. (4) 양극화 처리 후, 변색되면 안 될 경우에는 A5356을 사용하는 것이 좋다. (5) A5154 또는 A5554를 사용하여도 좋다. A5554는 고온용에 적합하다. (6) 고강도를 필요로 할 때는 A7N01를 사용하여도 좋다.
 비교. 1. 이 조합은 상온 및 저온에서 상용되는 일반적인 구조물을 대상으로 한 것이다. 2. 용접봉 및 용접와이어를 표시한 기호 BY 및 WY는 생략되어 있다. 3. 모재 중 저신재의 모양을 표시한 기호는 생략하였으나, 어떤 모양의 것에도 적용된다.

한 것으로 여겨졌던 때가 있었다. 그러나 흡수율을 높이기 위한 표면의 양극산화처리, graphite 분말의 도포나 산소가스의 이용 등이 검토되어, 보다 용입이 깊은 용접부가 얻어질 수 있다는 것을 알았으며, 일본의 경금속용접구조협회가 실시한 레이저 용접 적용의 문제점에 대한 조사결과에 의하면, 용접변형이 크고 생산성이 낮은 아크용접이나, 연속타점수명이 짧은 저항

점용접을 대신할 수 있는 방법으로서 인식되고 있다. 이와 관련하여 경량구조용 Al 합금의 용접에 대한 인식이 또한 제고됨으로써, 용접 입열이 적기 때문에 용접변형이 작고, 고능률이며, 또한 자유로운 열원의 이동이 가능하다는 특징을 가지고 있는 레이저빔 용접의 적용이 크게 주목을 받고 있다.

그러나 레이저장치 그 자체가 용접에 사용이 가능할

정도로 안정하며, 또한 대출력을 실현할 수 있게끔 된 것은 극히 최근의 일이며, 실제의 생산라인에 있어서 레이저용접 시스템이 충분한 가동률을 확보할 수 있을 것인가, 또는 레이저용접프로세스를 적용할 수 있을 것인가 하는 문제 등이 현재의 과제라고 할 수 있다. 더욱이 레이저용접에 의하여 제작된 용접부가 사용조건을 만족시킬 수 있을 것인가를 판단할 수 있을 정도의 연구·검토가 충분히 이루어져 있지 않은 것도 중요한 문제점의 하나이다. Table 5에 각종 AI 합금에 대하여 CO₂ 레이저용접을 적용한 예^{21~24)}를 나타내었다.

Table 5 각종 AI 합금에 대한 레이저용접의 적용예

Alloy	Thickness (mm)	Power (kW)	Welding Speed (m/min)
7475	2	5	4.32
8090	2.7	5	4.4~5.7
2024-T3	1.8	>3.3	1.5
2090-T3	2.0	>3.0	5
2219-T87	3.2	>3.5	1.5
3003-H14	2.3	>3.3	1.5
5456-H114	4.8	3.4	1.5
6061-T6	3.2	3.5	1
7075-T6	1.8	3.0	2
5083	4	4	2

그리고 레이저빔용접의 경우는 고에너지 밀도에 의하여 생산성이 높고 또한 우수한 품질의 용접부를 얻을 수 있다는 것과 기기의 운용의 자유도 등에서 우수한 특징을 가지고 있으나, AI 및 그 합금에 대하여 적용하였을 때, 레이저빔 및 AI 합금 자체의 고유한 특성상 다음과 같은 문제점을 가지고 있으며, 이것은 앞으로 해결해야할 과제이다. 문제점으로서는, ① AI 및 그 합금재의 특성상, 레이저빔의 반사에 의한 흡수율의 저하, ② 대기 중에서 용접이 이루어지며, 또한 AI 및 그 합금재 표면의 산화피막의 존재에 기인한 비드의 형상불량, 기공, 균열, 융합불량 등의 용접결함 발생의 위험성, ③ 대기 중의 용접에 의한 보호가스의 효과 불명, ④ Mg, Zn 등의 증발에 의한 용접금속의 강도 저하, ⑤ 맞대기 및 중첩용접부 등에 대한 그루브 또는 밀착성의 정도(精度)에 대한 요구, ⑥ 용접부의 기계적성질 등의 물성치에 대한 공표 데이터 부족 등을 들 수 있다.

3.1 용접조건

레이저용접은 용융금속의 양이 적고, 고속, 고능률이

며, 또한 조사거리가 길다는 것을 이용하여 다양한 형상에도 무리 없이 적용할 수 있다는 특징을 가지고 있으나, 그루브 형상의 정밀도가 요구되고, 또한 레이저를 용접부에 정확하게 조사하여야 한다는 제한성이 있다. 그러나 이러한 그루브의 정밀도와 레이저 조사위치의 정확도 등의 제한성에 대한 보고는 그다지 많지 않다. 이들에 대한 보고가 많지 않은 이유는, AI 합금에 대한 레이저의 적용이 많지 않았다는 것도 있지만, 산업현장 또는 연구결과에 대한 노하우에 관련하는 것도 있다. 참고로 아연도금강판과 스테인리스강판에 대한 CO₂ 레이저용접을 적용한 결과들^{25, 26)}에 의하면, 그루브의 정도는 판두께 2~3mm의 맞대기용접에서는 허용값이 0.1mm 정도이며, 중첩용접에서는 밀착을 요구하고 있다. 또한 조사위치에 대해서는 허용 단면적으로 주어지고 있다.

이러한 허용범위는 대단히 엄격한 것으로 볼 수 있으며, 이들 허용치의 범위를 완화시키기 위해서는 다음과 같은 방법이 사용된다. 먼저, 그루브의 정도를 완화하기 위해서는, 오실레이션을 사용하여 용융폭을 확대시키고, 용가재를 병용하며, 적절한 용접 지그를 개발하여야 한다. 그리고 용접선 검출기구의 개발, 검출신호의 피드백에 의한 제어 등을 통하여 조사위치를 효율적으로 제어할 수 있도록 한다. 또한 그루브의 개선과, 레이저용접에 적절한 부품 및 이음부의 설계가 이루어져야 한다.

여기서 용가재의 병용과 오실레이션을 이용하면, 1mm(t)의 강판에 대하여 0.8mm 정도로 그루브 갭의 허용범위가 크게 확대되며²⁶⁾, 중첩용접의 경우에도 상당한 갭을 두어도 상판에서의 약간의 용락은 발생하지만 충분한 용접이 이루어지는 것으로 보고하고 있다²⁷⁾. 용접 지그에 관해서는 다양한 방법을 사용하는 것으로 추정할 수 있으나, 일반적으로 잘 알려지지 않은 면이 있다. 그리고 가장 실현성이 높은 것으로는 그루브의 개선과 부품 및 이음부 설계 등을 들 수 있는데, 이것은 고정밀도와, 고속용접을 활용하는데 가장 유효한 수단으로 볼 수 있다^{28, 29)}.

3.2 용 입

AI 합금에 대한 레이저용접의 적용은 현재 그다지 많이 이루어지고 있는 것은 아니다. 현재 실용화되어 있는 용접용 레이저 파워는 CO₂ 레이저에서는 15kW, YAG 레이저에서는 3kW 정도이다. 그러나 자동차 가전제품 분야 등의 대량생산에 이용되고 있는 경우는 대체로 CO₂ 레이저에서는 5kW, YAG 레이저에서는 1kW 이하 정도라고 볼 수 있다.

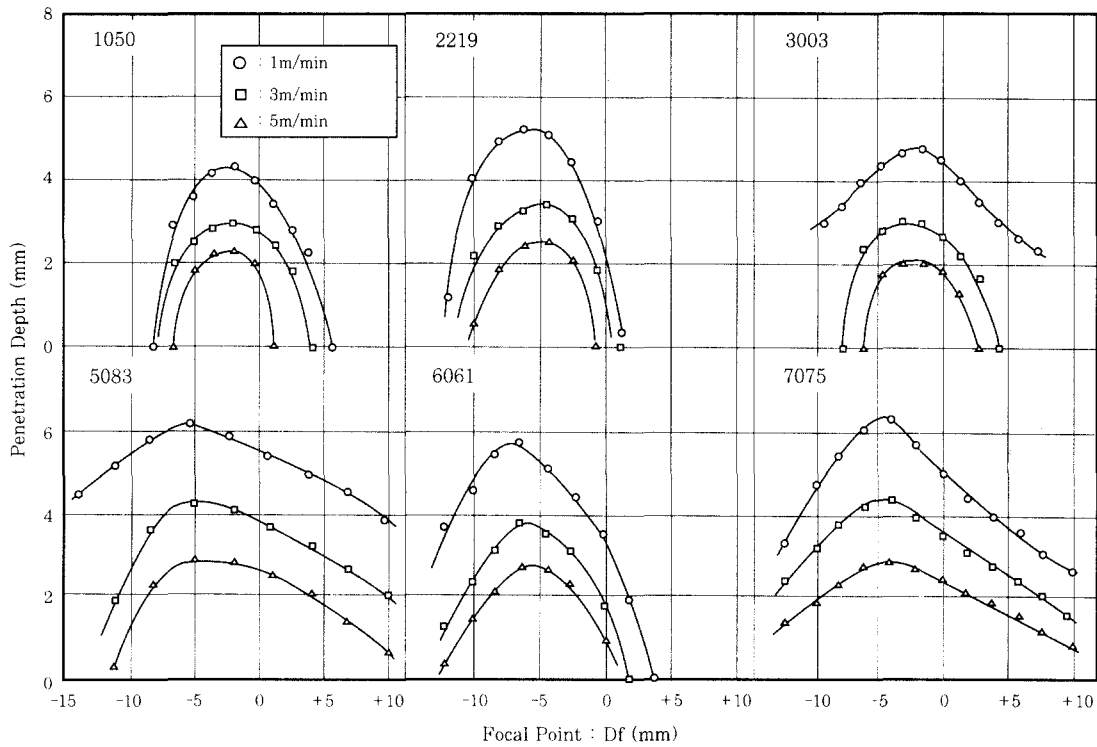


Fig. 3 Al 합금 CO₂ 레이저 용접부의 용입깊이

Al 합금의 레이저용접에서는 함유되는 조성, 특히 증기압이 높은 Mg, Zn 등의 양에 의하여 크게 영향을 받는다. Fig. 3³⁰⁾은 각 계열의 Al 합금에 대한 CO₂ 레이저용접에서의 용입깊이를 나타낸 것인데, 합금의 종류에 따라서 용입 정도가 달라짐을 알 수 있다. 즉 레이저용접시의 파워와 용입깊이는 비례관계를 보이지 않으며, 초점심도 또한 재질 의존성이 높다는 것을 알 수 있다. 이들 결과에 의하면, 5000과 7000계 합금에서 그 영향이 크게 나타난다. 한편 YAG 레이저의 경우는 CO₂ 레이저에 비하여 Al 합금에 적용한 데이터가 더욱이나 적다. 그러나, 10kW급 CO₂ 레이저용접에서는 약 10mm, 3kW급 YAG 레이저용접에서는 3mm 정도의 최대 용입깊이를 얻을 수 있다.

그러나 이들 용입깊이는 레이저용접이 가능한 판의 두께에 그대로 적용할 수는 없다. 그것은 후판에서는 용입이 깊은 용접조건을 설정하면 용접 비드가 거친 형상으로 되어 표면결합이 심하게 발생하며, 이것을 방지하기 위하여 파워를 낮추면 용접자체가 어려워진다. 즉 Al 합금에서는, 스테인리스강이나 아연도금강판 등과 비교하여, 적용할 수 있는 레이저의 파워범위가 크게 좁아지기 때문에 깊은 용입을 얻는데는 한계가 있다고 할 수 있다³¹⁾.

그러므로 Al 합금의 레이저용접에서는, 위와 같은 재질적인 특성 뿐만 아니라 레이저용접장치 자체적인

특성을 충분히 고려하여야 한다. 그러나 자동차의 패널과 같은 2mm 이하 정도의 용접에서는 양호한 용접을 할 수 있다.

3.3 용접부의 성질 및 제결함

Table 6²⁸⁾에 Al 합금 중 일부에 대한 레이저용접 이음부의 강도를 나타내었다. 이 결과에 의하면, 인장강도는 5000계와 후열처리를 한 2000 및 6000계에서 모재와 거의 동등한 값을 얻고 있으며, 그 외의 경우는 낮은 값을 나타낸다. 그러나 이음부의 신율면에서는 모재에 비하여 현저하게 저하한다.

레이저용접부의 결함으로는 비드의 형상불량과 함께, 기공 및 균열 등이 발생하는 것으로 알려져 있다^{30, 32~36)}.

Al 및 Al 합금의 용접부는 다른 금속에 비하여 기공이 대단히 잘 발생하는데, 완전 용입 용접부에서는 거의 잘 발생하지 않는 것으로 알려져 있다^{37, 38)}. 그러나 부분 용입 용접에서는 기공이 대단히 잘 발생하므로, 가능하면 완전 용입이 되는 용접조건을 채택하는 것이 좋다. 한편 YAG 레이저에서는 펄스를 사용하여 기공 발생을 어느 정도 억제할 수 있다.

Al 합금의 레이저 용접부에서의 균열은 다른 용접법에서와 마찬가지로 용접금속에서의 응고균열과 열영

항부에서의 액화균열이 주로 발생하며, 균열감수성은 합금의 종류에 따라서 전혀 다르다고 할 수 있다. 일반적으로 5000계는 균열감수성이 작고, 2000 및 6000계 합금에서는 크다. 따라서 균열발생의 방지 또는 억제하기 위해서는 모재와 용접재료의 조성 및 용접조건에 충분한 검토가 필요하다.

Table 6 레이저 용접이음부의 인장강도특성

재 료	모재 / 용접	후열처리	인장강도 (kgf/mm ²)	내력 (kgf/mm ²)	신율 (%)
1100-0	모재		9.0	3.0	4.3
	CO ² 레이저		5(80%)		
2219-T3	모재		36.5	25.5	
	CO ² 레이저	인공시효	31.4		
5052	YAG 레이저		12.5		
5083-0	모재		29.5		22
	CO ² 레이저		96%	1.5	9.8
	CO ² 레이저		85%		7.0
	CO ² 레이저		80%		5.0
	YAG 레이저		98%		
5251-0	모재				
	CO ² 레이저		86%		2.8
6061-?	CO ² 레이저	없음	54%		0.8
		있음	60%		5.5
	YAG 레이저	불명	>100%		
6061-?	CO ² 레이저	없음	73%		1.2
		있음	>100%		13.5

4. 결 언

경량화용 재료로서의 Al 합금에 대한 아크용접 및 레이저용접의 적용 현상과 문제점, 그 대책 및 앞으로의 과제에 대하여 서술하였다.

먼저 Al 합금의 아크용접에서는, 인버터제어전원의 적용에 의하여 박판에 대한 MIG 용접이 가능하게 되어, 그 실용화가 일부 되어 있다. 아크용접에 의한 변형의 발생을 억제하기 위해서는 Al합금의 특징인 압출형재를 이용하여 가능한 용접선을 짧게 하고 그에 적절한 시공기술을 개발하여야 한다. 균열, 기공 등의 용접부의 결함은 실용 합금에서는 적정 용접조건에 의하면 크게 문제될 것이 없다. 이와 병행하여 재질면에서는 용접성이 우수한 고강도합금의 개발이 기대된다.

한편 레이저용접에서는, 본론에서도 서술한 바와 같이, Al 합금에 적용한 결과가 그다지 많지 않으며, 그러한 결과들을 중심으로 기술하였으므로, 여러 가지 부족한 점이 많을 것으로 생각된다. 그러나 레이저용접이 가지고 있는 우수한 특성과 경량화구조재료로서 Al 합금의 중요성에 대한 인식과 재질적인 특성을 활용하여, 일층 많은 연구가 이루어짐으로써 Al 합금 레

이저 용접의 실용화에 대한 성과가 앞으로 더욱 많이 나타날 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 溶接學會: 車體の輕量化技術に関するシンポジウム, 「車體の輕量化」研究特別委員會, 1992, 1
2. 山田: 輕金屬, 41-1(1991), 67
3. 石塚: 輕金屬, 41-5(1991), 353
4. 今村: 輕金屬, 41-9(1991), 623
5. 竹内: 輕金屬, 41-11(1991), 787
6. 輕金屬協會: アルミニウムハンドブック, 1990, 152
7. 輕金屬協會: アルミニウム技術便覽, 251
8. 溶接學會: 溶接·接合便覽, 1990, 丸善, 782
9. 中田: 車體の輕量化技術に関するシンポジウム, 「車體の輕量化」研究特別委員會, 1992, 76
10. 笹部: 車體の輕量化技術に関するシンポジウム, 「車體の輕量化」研究特別委員會, 1992, 61
11. 丸山 등: 輕金屬溶接, 30-5(1992), 210
12. 谷本 등: 輕金屬溶接, 32-8(1994), 352
13. 松井: 輕金屬溶接, 20-1(1982), 3
14. 松本: 溶接技術, 39-9(1991), 86
15. 松本 등: 溶接技術, 39-9(1991), 95
16. 대한용접학회편: 용접접합편람, 대한용접학회, 1998, 242
17. J.R. Davis Ed.: Aluminum and Aluminum Alloys, ASM Specialty Handbook, ASM Int., 1993, 379
18. 日本溶接協會編: 新版テング溶接法の基礎と實際, 産報出版, 1992, 185
19. J.R. Davis Ed.: Aluminum and Aluminum Alloys, ASM Specialty Handbook, ASM Int., 1993, 380
20. 대한용접학회 편: 용접접합편람, 대한용접학회, 1998, 249
21. D.S. Gnanamuthu et al.: Proc. Conf. Laser Electron Beam Weld Cutt Surf. Treat State Art 1987, Part 2, Reno, Nov., 1987, 295
22. D.S. Gnanamuthu et al.: Proc. Int. Power Beam Processing, San Diego CA, 1988, 181
23. 片山: 第24回レーザー熱加工研究會論文集, 1990, 07., 1
24. 本多: ジョイテック, 6-9(1990), 76
25. H. Nitsch et al.: Proceeding 5th CISFFEL, 1993, 45
26. 森安雅治: 第3回車體輕量化特別研究會資料, 溶接學會, 1992-9(1992)
27. C. Bagger et al.: Proceeding of LAMP'92, 1992, 553
28. 入江: 第2回 車體の輕量化技術に関するシンポジウム, 溶接學會, 1994, 81
29. M. Funk et al.: Advances in High Power Laser Welding, I.I.W. Doc. IV-556-90(1990)
30. H. Matsumura et al.: Proceeding of LAMP'92, 1992, 529
31. 久保 등: 第3回車體輕量化特別研究會資料, 溶接學會, 1992-10(1992)
32. 輕金屬溶接學會: 輕金屬溶接, 32-5(1994), 215
33. M.J. Cieslak and P.W. Fuerschback: Metallurgical

Transaction, 19B(1988), 319

34. 片山 등: 輕金屬溶接, 29-8(1991), 349

35. 吉川 등: 輕金屬溶接, 32-9(1994), 404

36. 하용수 등: 대한용접학회지, 18-2(2000), 213-221

37. I. Jones et al.: Proceeding of LAMP'92, 1992, 523

38. 吉川 등: 溶接技術, 42-3(1994), 119



- 박화순 (朴和淳)
- 1955년생
- 부경대학교 재료공학부
- 철강재료 및 비철합금의 용접성, 플라즈마 표면개질, 마이크로 솔더링
- e-mail : parkhs@pknu.ac.kr