

유도무기 날개의 레이저 용접기술

Laser Welding for Wing of a Guided Weapon

서 정*
Suh, Jeong

이 제 훈*
Lee, Jae-Hoon

김 정 오*
Kim, Jeng-O

정 군 석**
Chung, Koon-Seok

정 해 용***
Jeong, Hae-Yong

ABSTRACT

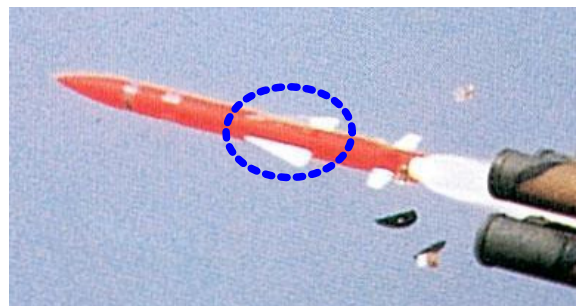
Laser welding process for wing of a guided weapon is studied. Nd:YAG pulse laser beam is used to weld the skin(STS304, thickness: 1mm) to frame(AMS 5398) of wing. Optimal laser welding condition is obtained from the mechanical testing and observation of the welded joint.

주요기술용어(주제어) : Laser Welding(레이저 용접), Guided Weapon(유도무기), Wing(날개)

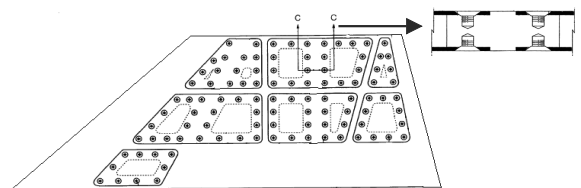
1. 서 론

종래의 국내 비행체는 대부분이 저하중을 목적으로 하여 알루미늄 합금이 주를 이루고 있다. 그러나, 최근 로켓이나 유도무기 등의 비행체가 대형화, 고성능 화됨에 따라 연소관 및 날개는 공력가열에 의해 표면 온도가 급격히 올라가기 때문에 하중과 고열에 견딜 수 있는 고온용 소재로 설계되고 있는 실정이며 이에 따른 기술 개발이 절실하다. 특히, 유도무기의 고온용 날개에 대한 자료는 국내에서 전무한 실정이며 국외에서도 자료 입수가 어렵다. 이 중, 특수소재(SUS/Ti)의 레이저 용접에 관련된 용접부의 기계적 특성 자료 및 평가 자료는 유도무기 날개의 구조 설계에 있어서 반드시 평가되어야 할 분야이며, 그림 1과 같이 기존의 조립형(각각의 제품을 Fastener를 적용시켜 조립

하는 Type)을 그림 2의 용접형(각각의 제품을 용접형 Type)으로 설계·개발함으로써 생산 기간 단축 및 저가로 공급할 수 있는 장점이 있다.



(a) 일반 유도무기 및 날개 위치



(b) 기존의 Fastener적용 타입 날개 조립형상

[그림 1] 기존 조립형 날개

† 2007년 4월 27일 접수~2007년 6월 15일 게재승인

* 한국기계연구원(KIMM)

** 한라이비텍(Halla E·B·Technology Inc.)

*** 두원중공업(Doowon Heavy Industrial Co.)

주저자 이메일 : jsuh@kimm.re.kr

본 연구에서는 유도무기의 고온용 날개 제작을 위한 레이저 용접기술을 개발하고자 한다. 레이저 용접을 적용시, 유도무기 날개의 기존조립 공법(Fastener, Bolt, Rivet 등)의 기술적 한계를 극복할 수 있으며, 공정 단축 및 생산성 향상이 예상되며, 특히, 타 용접 공법에 비해 열변형을 최소화될 수 있다. 또한, 용접형 유도무기 날개는 결합면 및 Fastener가 필요하지 않으므로 재료의 무게 대비 강도 특성을 효율적으로 이용할 수 있고, 경량화가 가능할 것이다.

2. 용접대상물 분석

본 연구에서의 용접대상물인 레이저 용접형 날개는 그림 2와 같은 구조로 되어 있다.

그림 2의 레이저 용접형 날개는 주조로 제작된 골격 몸체(AMS 5398)에 여러 형태의 조각난 10개의 스킨(STS 304, 두께 1mm)을 레이저 용접으로 접합하여 제작된다. 날개의 후면도 그림과 동일한 형상을 가지므로 날개 1개에 용접되는 스킨의 개수는 총 20개가 된다. 즉, 날개는 골격에 얇은 스킨을 붙인 경량 구조로 구성되어 있다.

용접 대상재료인 스테인레스강 AMS 5398과 STS 304의 성분 및 기계적 성질은 표 1, 2와 같다.

날개 몸체와 스킨 재료로 사용된 AMS 5398과 STS 304는 탄소의 양을 극소량으로 제한하여 탄화물의 양을 감소시킴으로써 고온에서 발생할 수 있는 탄화물 입계 석출에 의한 입계부식을 방지할 수 있

다. 특히, AMS 5398은 탄소의 양을 0.03%로 제한하고, Cu를 첨가하여 약 500℃에서 석출처리를 함으로써 Cu 석출물을 석출시켜 고온에서 내식성과 강도를 유지할 수 있다. AMS 5398 및 STS 304의 레이저 용접에 있어 금속학적인 문제점을 파악하기 위하여 Shaeffler Diagram을 이용하였다. 각 금속의 Cr 및 Ni 당량은 다음과 같다.

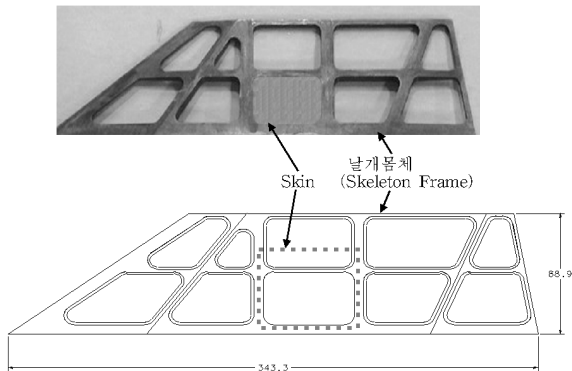
	AMS 5398	STS 304
Ni eq :	4.98	11.17
Cr eq :	17.945	18.99

[표 1] AMS 5398재료의 성분 및 기계적 성질

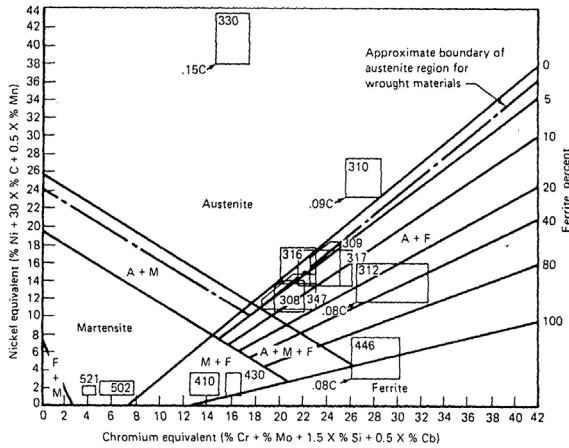
Chemical Composition(% Max)									
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Nb	Cu	Ta
0.03	0.64	0.87	0.01	0.00	16.6	3.76	0.29	3.01	-
Al	Sn								
0.00	0.00								
시험방법 ASTM E 172(SPECTROMETER0)									
Mechanical Properties(Min)									
T.S kg/mm ²			Y.S kg/mm ²			E.L(%)			
110.1			104.7			14.5			
시험방법 KS B 0802(만능인장시험기)									

[표 2] STS 304재료의 성분 및 기계적 성질

Chemical Composition(% Max)									
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr			
0.06	0.52	1.62	0.026	0.015	8.56	18.21			
시험방법 ASTM E 172(SPECTROMETER0)									
Mechanical Properties(Min)									
T.S kg/mm ²			Y.S kg/mm ²			E.L(%)			
70.47			31.0			55.3			
시험방법 KS B 0802(만능인장시험기)									



[그림 2] 레이저 용접형 날개



[그림 3] Shaeffler Diagram

용접 후 두 모재금속에서 Ni eq 및 Cr eq는 다음과 같이 가정할 수 있다.

Ni eq : 8.075 (평균값) Cr eq : 18.468 (평균값)

이 값을 그림 3에서 찾으면 A + M + F 영역이며 10~20%의 Ferrite를 함유한다. 일반적으로 용착금속이 완전히 Austenite 조직이 되면 고온 균열이 발생하고 여기에 수 %의 Ferrite를 함유시키면 균열이 대단히 감소한다.(<10%) 따라서, Hot crack 발생의 소지는 어느정도 있으나 용접 Joint design 등 용접 조건 등을 최적화 할 경우 용접 상 문제가 해결될 것으로 사료된다.

3. 레이저 용접시공

가. 레이저 용접의 특성

레이저 용접은 전자빔 용접과 같이 대단히 높은 에너지 밀도와 용접 효율을 가지기 때문에 같은 두께를 용접시 입열량이 아크용접에 비해 1/50정도 이며, 용입 깊이와 폭의 비가 크다. 표 3은 각종 용접 방법에 대한 용접 특성을 나타내고 있다.

용접시 발생하는 변형(Distortion)은 크게 두가지로 나눌 수 있다. 하나는 성분의 제한된 면적에서의 열적 영향에 의한 열적 변형(Thermal distortion) 이고,

[표 3] 각종 용접법의 에너지 밀도 및 효율

용접법	에너지 밀도 (W/cm ²)	용접효율 (mm ² /kJ)	용입 형상
가스용접 (산소아세틸렌)	10 ² -10 ³	0.2 - 0.5	얕다
아크용접	5×10 ² -10 ⁴	0.8-2(TIG) 2-3(MIG) 4-10(SMA)	얕다
플라즈마 아크용접	10 ³ -10 ⁶	5 - 10	에너지 밀도에 비례
전자빔 용접	10 ⁵ -10 ⁸	20 - 30	에너지 밀도에 비례
레이저 용접	10 ⁵ -10 ⁸	15 - 25	깊다

다른 하나는 고체상태에서 녹았던 금속의 수축에 의한 구성 성분의 변형이다. 레이저 용접 또는 전자빔 용접에서는 입열량이 작고, 용접 단면에 대하여 평행으로 가열되므로 수축(Shrinkage)과 굴곡(Bending)량이 아크 용접에 의해 발생한 것보다 훨씬 작아진다. 예를 들면, 두께 12mm를 용접했을 때 아크 용접한 경우는 수축량이 0.5mm인데 반해 레이저 또는 전자빔 용접의 경우 0.1mm로서 20% 수준이다. 이러한 특징은 기계가공을 완전히 마친후 용접을 실시하는 공정 설계를 가능케 한다.

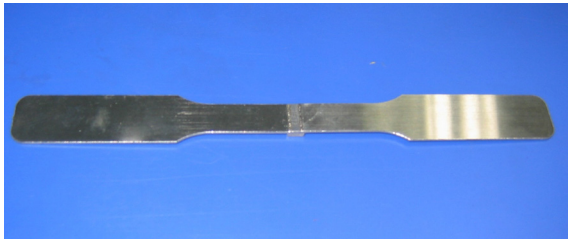
또한, 금속중에는 용접시 균열(Crack) 발생으로 인하여 용접 불가능한 것으로 간주되는 것이 있다. 균열은 고체 물질의 열영향 부분의 파단강도(Fracture strength)를 초과한 수축에 의해 틈(Strain)이 발생한 것이다. 레이저 또는 전자빔 용접에서의 수축 틈은 아주 작기 때문에 균열 발생 가능성이 적고, 경우에 따라 다른 방법으로 용접했을 때 발생한 균열을 레이저 용접으로 보수하는 것도 가능하다.

나. 레이저 용접 실험

실 제품 용접전 용접 조인트 형상이 동일한 모사 시험편을 통하여 용접부 내부 결함 및 기계적 특성 실험을 행하여 최적 용접조건을 확보하였다. 레이저 용접장치는 그림 4와 같으며, 레이저는 최대출력 250W 인 Nd:YAG Pulse Laser(모델명 : JK 702)이다.



[그림 4] JK 702 Nd:YAG Pulse Laser

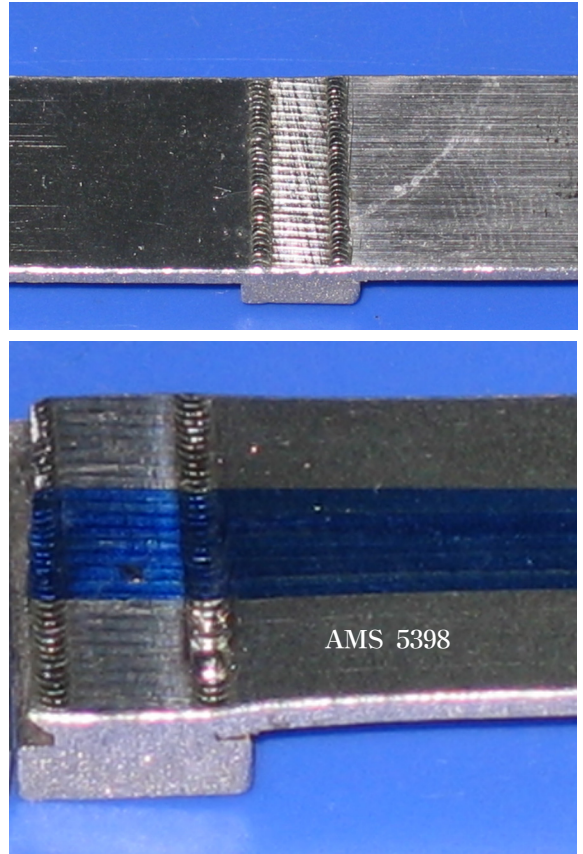


[그림 5] 인장시편

그림 5는 강도 및 변형을 측정을 위한 인장시편으로 한쪽은 AMS 5398 재료이고 다른 한쪽은 STS 304 재료이다. 그림 6은 파단후의 사진을 보여주고 있다.

인장시험 결과는 그림 6에서 보듯이 모두 인장강도가 낮은 STS 304 측의 열 영향부에서 파단 되었으며, 모재부에서 많은 연신이 일어났다. 인장시험 결과는 표 4에 나타내었다. 용접시편에서 인장강도는 표 1에서의 STS 304 재료와 동등한 강도를 가지고 있으므로 용접부 특성은 매우 양호함을 알 수 있다. 또한, 연신율은 표 1의 AMS 5398과 STS 304의 중간 영역에 있음을 알 수 있다.

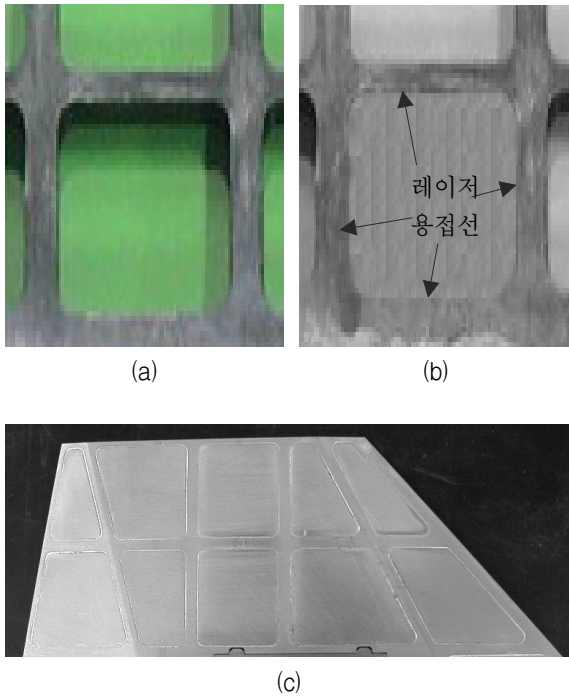
그림 7은 실제 날개 제작 공정 및 완성품을 보여주고 있다. 그림 7에서 (a)는 주조로 제작된 골격 몸체(AMS 5398)이며, 가공된 부위에 (b)와 같이 스킨(STS 304, 두께 1mm)이 끼워져 조립되고 조립된 부위를 따라 레이저 용접으로 접합하며, 그 결과 (c)와 같은 용접형 날개가 완성된다.



[그림 6] 인장시편의 파단 결과

[표 4] 인장시험 결과(실험조건 : 표 5 참조)

LOT No.	T.S (kg/mm ²)	Y.S (kg/mm ²)	E.L (%)
1-1	60.16	22.67	17.4
1-2	68.06	16.25	26.0
1-3	76.44	9.47	49.2
1-4	67.28	23.33	26.0
2-1	73.66	11.27	38.0
2-2	73.90	7.48	43.2
2-3	71.11	24.93	33.2
2-4	69.78	30.51	30.6



[그림 7] 날개 제작공정 및 완성품

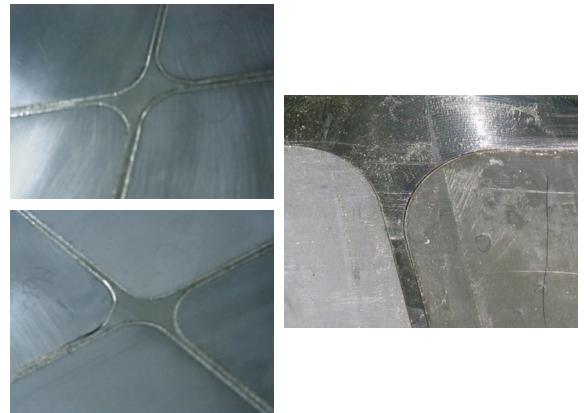
- (a) 날개 골격 몸체
- (b) 스킨 조립
- (c) 날개 완성품

[표 5] 최적 레이저 용접 조건

Power (W)	Energy (J)	Height (%)	Width (ms)
162	7.92	38	8.5
Rate (Hz)	Speed (m/min)	Focusing (mm)	Penet (mm)
20	0.4	0	0.8

4. 품질검사 및 결론

인장시험 및 기초시험을 통하여 확보된 최적 용접



[그림 8] 주요 결합 형상 및 그 원인

조건은 표 5와 같다. 레이저 용접된 날개의 품질검사는 육안검사를 통하여 스킨 용접부의 외관비드형상을 검사하였으며, 모사시험편을 이용하여 인장 TEST 하여 용접부 강도를 확인하였고, 3차원 측정기를 이용하여 용접 부 전 위치의 변형상태 등을 검사하였다.

용접부는 STS 304 모재와 동등한 강도를 나타내었으며, 열적 변형도 매우 적음을 알 수 있었다. 특별한 용접 결합 형태는 그림 8과 같이 under-cut나 국부적인 용입불량이 대표적인 형상이었으며, 이는 조립상태에서의 큰 gap이나 용접면의 청결상태에 기인하였으며, 이를 수정한 후에는 용접불량이 나타나지 않았다.

내부적인 결함에 대해서는 현재 확인할 수 없으나, 대량 생산시에는 plasma detector를 이용한 실시간 용접 모니터링 기법의 적용이 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] Laser welding, McGraw-Hill, Inc.
- [2] 금속재료(한봉희저, 우도출판사).
- [3] Welding Handbook, Seven Edition, Volume 4, "Metals and Their Weldability".