特輯 : 특수재료의 접합 및 접합에 의한 재료의 복합화

Al 금속기 복합재료의 용접 및 접합

강정윤 · 김우열 · 정희원

Welding and Bonding of Al Metal Matrix Fiber-Reinforced Composite

Chung-Yun Kang, Woo-Yeol Kim and Hee-Won Jeong

강정윤/부산대학교/1953년생/접합공학 및 용접야금

김우열/부경대학교/1946년생/브레이징, 솔더링 삽입금속의 개발, 열교환기 제조분야

정희원/한국기계연구원/1968년생/접합공학 및 분말야금

1. 서 언

섬유강화 금속복합재료(Fiber reinforced metal matrix composites)는 세라믹 화이버인 탄화규소섬유, 보론섬유를 보강재로 하고, Al, Ti, Ni, 금속간화합물 등을 기지 재료로 복합화한 재료이다. 현재 가장 많이 실용화되고 있는 금속복합재료로는 Al기지 금속복합재료이다. Al기지금속복합재료 시제품은 주로 자동차 엔진 부품들로서 피스톤헤드, 켄네팅로드, 피스톤 핀, 로커 암, 푸쉬로드 등인데, 생산단가 문제로 제한적으로 사용되고 있다. 그러나, 기지재료에 비해 2-3%의 증가된 비강도 및 비강성을 갖는 입자강화금속복합재료 경우는 용이한 2차 가공성으로 인하여 Alcan Al International의 미국내 자회사인 Duralcan U. S. A에서는 주조방법으로 연간 11,000 ton의 대량생산 채비를 하고 있다.

실용화 범위를 확대하기 위해서는 새로은 재료의 개발에 대한 연구와 더불어 생산가공기술의 개발에 대한 연구도 병행되어야만 가능하다. 생산가공기술 중에서도 가장 근간이 되는 접합기술의 확립이 시급히 이루어져야할 것으로 생각된다.

FRM은 기지가 금속이므로 야금학적인 접합법을 사용할 수 있는 특징이 있으나, 접합시 열 혹은 압력을 가하기 때문에 섬유의 파괴, 용융에 의한 섬유의 열화, 섬유와 용융금속과의 젖음성의 불량에 의한 void의 발생, 용융금속과 섬유와 반응 등의 문제가 존재한다. 이 문제점을 해결하기 위하여 1960년대부터 많은 연구가 수행되어 왔고, 외국에서는 이에 대한 연구결과를 정리한 해설도 많이 있다. 본해설은 이 자료와 최근의 연구자료를 추가하여 정리한 것이다.

2. 복합재료의 접합시 고려하여야 할 점

금속을 접합하기 위해서는 열과 압력을 사용하였야 하지만, 이 열과 압력은 복합재료가 이종재료로 구성되었다는 특성 때문에 접합시에 오히려 악영향을 미칠 우려가 있다. 예를들면, 가열에 의해 복합재료의 보강 섬유와 기지인 금속과 반응하려 취약한 반응층이 형성되고, 섬유 혹은 기지금속/섬유 계면의 강도를 저하시킨다. 또한, 가압에

의해 기지금속이 소성변형하게 되어, 섬유의 파괴, 손상 혹은 섬유 배열의 변화를 일으킨다. 따라서 금속만을 접합하는 경우보다 제약이 많다.

그림 1은[1] 그 일예로서 가압력 60MPa, 유지시간 30분의 조건으로 Hot press로 성형하는 경우, 각종 CVD섬유/Al계 복합재료의 강도와 성형온도의 관계를 나타낸다. 성형온도가 높게됨에 따라서 계면반응층이 생성되어 FRM의 강도는 저하하지만, 그 정도는 섬유의 열적 안정성에 따라 차가 있음을 볼 수있다. 특히 B섬유를 사용하는 경우 530℃ 부근에서 강도가 급격히 저하한다. 이외에 C섬유는 Al과 반응하여 Al_4C_3을 형성하고, 580℃ 부근에서 강도가 급격히 저하한다.[2] SiC는 고상상태의 Al과 반응하지 않지만, 액상상태에서는 반응하여 취약한 Al_4C_3을 형성함으로 강도 저하의 원인이 된다.[3] 이와같은 반응을 억제시키기 위해서는 섬유표면에 다른 물질을 피복시키면 효과가 있다. 예를 들면 B/Al계에서는 B_4C 혹은 SiC, C/Al계에서는 TiC, ZrC, Ti-B이 계면반응을 지연시키는 효과가 있다.

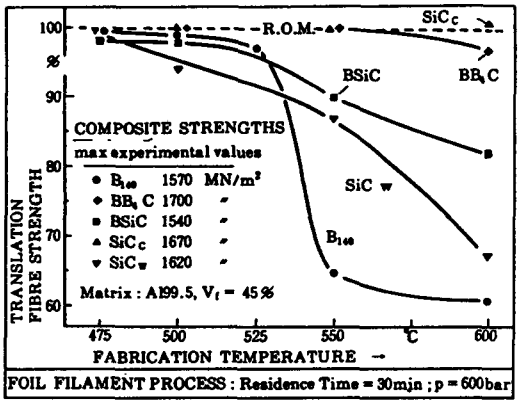

Fig. 1 Translation of fiber strength in boron and silicon carbide fiber reinforced aluminum composites as function of the fabrication temperature

복합재료의 접합시에 맞대기 이음으로 접합하는 경우 섬유의 파손, 절단 등의 위험이 있다. 또한 세라믹스 섬유와 금속이 복합화되어 있는 상태이므로 열팽창계수 차에 의해서 접합시 미소균열이 발생할 우려가 많다. 이러한 이유로 복합재료 접합시 이음부의 형상은 반드시 검토할 필요가 있다. 복합재료의 접합에 사용되는 접합이음부의 형태는 그림 2[4]와 같다. 맞대기 이음의 경우는 접촉면적을 크게 하기 위하여 스텝을 주거나 스카프 형태를 취하고, 일반적으로 전단형태를 많이 사용한다.

또한 열팽계수차를 고려하는 경우 상대금속을 열팽창계수가 차가 작은 Ti을 사용하는 것이 바람직하다. Ti합금은 비강도가 높은 점에서도 유리하다.

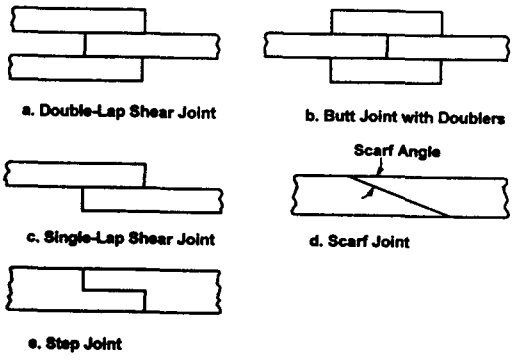

Fig. 2 Joint configurations

3. Al 복합재료의 용융용접

복합재료를 용가재 없이 용융용접하는 경우, 앞에서 설명한 섬유/금속 반응성 문제와 더불어 다음과 같은 문제가 발생할 우려가 있다. 고온 아크로 직접 가열하므로 섬유의 파괴 혹은 용융이 일어날 가능성이 있다. 또한, 용융금속의 유동성이 불량하고, 섬유와 젖음성이 나쁘기 때문에 공공, 균열 등의 결함이 발생하기 쉽다. 예를들면 단섬유 SiC/6061Al 복합재료를 용가재 없이 TIG 용접하는 경우, 용접금속과 열영향부에 다량의 공공과 균열이 발생한다.[5] 사용한 복합재료가 분말야금법으로 제조되었기 때문에 다량의 흡착가스가 재료내에 존재하고, 용융금속의 젖음성이 불량하기 때문이다.

이런 이유로 복합재료 자체를 진공 탈가스 처리하고, Al-Si계 4043 용가재를 사용하여 TIG 용접을

시도한 예가 있다.[5] 생각한데로 공공의 발생량이 현저히게 감소하였다. 또한 Al-Mg계 5356합금을 용가재로 MIG 용접한 경우, 양호한 접합강도를 얻을 수 있다고 보고하고 있다.[5] 접합재의 인장강도를 표 1에 표시한다. 특히 용가재 5356Al합금의 강도가 모재보다 고강도이므로 모재에서 파단하는 접합제를 얻을 수 있었다.

C/Al계 복합재료의 경우 Al-Si계 4043합금을 용가재로 사용하여 저입열 TIG 용접하면, 결함이 없고, 열영향부에도 Al_4C_3가 형성되지 않는 접합부를 얻을 수 있다.[6] 이것은 Al_4C_3의 생성반응이 970K 이상에서만 급속히 일어나기 때문인 것으로 설명되어 있다. B/Al계 복합재료의 경우도 4043합금을 용가재로 사용하면 결함이 없는 접합부를 얻을 수 있다.[7]

이상과 같이 용융용접에서는 넓은 개선과 섬유와 유동성이 좋은 용가재를 사용하고, 저입열로 용접하면 섬유/기지금속간의 반응이나 결함이 없는 양호한 이음부를 얻을 수 있다. 그러나 넓은 개선과 용가재를 사용하는 경우 접합부에 섬유가 존재하지 않는 폭이 넓어져 섬유강화 효과가 상실한다. 이런 의미에서 용입폭이 좁은 전자빔용접이 유효할 것으로 생각되고, 재료로서는 SiC휘스카 혹은 입자강화 Al기 복합재료가 적당할 것으로 사료된다.

Table 1. Tensile properties of TIG welded joints of SiC/Al composite

materials	Fabrication condition	Failure	T.S. (MPa)	Y.S. (MPa)	E(%)
SiC/6061Al (SiC ; F9) (Vol.; 18.4%)	Vacuum degassed and welded	Weld	181	75	3.7
	Vacuum degassed and welded	PM	245	94	8.3
	MIG. and heat treated	Weld	257	143	2.2
	As received and welded	Weld	105	34	1.4
	parent material		319	159	5.4
SiC/6061Al (SiC ; F9) (Vol.; 18.4%)	Vacuum degassed and welded	Weld	177	52	2.5
	Vacuum degassed and welded	PM	236	105	5.6
	MIG. and heat treated	Weld	255	146	2.0
	As received and welded	Weld	106	46	1.1
	parent material		299	168	8.0

a. TIG AC using 4043 Al Filler alloy. b. MIG using 5356 Al filler alloy.
c. solution treated 1.8ks at 798K. aged 23.4ks at 443K. d. Only one sample

4. 저항용접

저항용접은 접합부의 가열시간을 대단히 짧게 할 수 있으므로, 복합재료중의 Al은 용융되지만, B 혹은 SiC 섬유는 거의 손상을 받지 않는다. 또한 나게트의 형성은 섬유와 Al합금간의 반응을 억제할 수 있다. 또한 가압하에서 접합이 이루어지므로 공공, 균열이 발생하기 어렵다. 이 때문에 비교적 고강도의 접합부를 얻을 수 있는 것으로 생각된다.

표 2는 B/Al 복합재료간의 접합부 혹은 Al합금과의 저항용접 접합부의 특성을 Metzger에 의해 정리한 것을 표시한 것이다.[4] 전반적으로 건전한 품질이 얻어지고 있다. 특히 Al합금과의 접합의 경우, 열전도 및 열팽창계수 차이가 있기 때문에 용접조건이 다르다. 또한 중첩 이음으로 저항 용접하는 경우, 복합재료의 겉표면이 Al함금으로 이루어져 있으므로 접합면상에서는 실질적으로 Al합금끼리 접합이다. 그러나, 통상의 Al합금간의 저항용접과 비교하면, 복합재료의 용접조건는 저입열, 저가압으로 제어할 필요가 있다. 이것은 입열이 과다하면 용융Al합금과 섬유가 반응하여 섬유가 열화하고, 접합계면에서 용융한 Al이 비산되어 섬유가 노출되므로 접합성이 나쁘게 되기 때문이다. 한편 가압력의 경우, 섬유의 손상을 주지 않기 위

하여 과도한 가압은 금물이지만, 가압력이 너무 낮아도 접합계면으로 부터 용융금속이 비산현상이 현저하게 생기므로 접합성이 나쁘게 된다.

Table 2. B/Al composite resistance welded joints

Joint No.	Member	Specimen Material: Base Material	t, mm	T.S., MPa	Specimen: Type[a]	W, mm	Lap, mm	Quantity	At Failure: Load,[b] kN	Stress in Comp., MPa	Joint[c] Eff., %
1	A	Al/50 B	0.51	1170	I	19	···	5	2.79	2.94	25
	B	←Same→							2.67 – 2.92		
2	A	Al/50 B	0.51	1170	II	19	···	3	0.29	···	···
	B	←Same→							0.28 – 0.32		
3	A	Al/50 B	0.89	1124	III	13	25	5[d]	5.89	505	45
	B	←Same→							5.38 – 6.32		
4	A	Al/50 B	0.64	848	IV	19	···	4	5.51	453	53
	B	←Same→							5.07 – 6.00		
5	A	Al/50 B[e]	0.76	1240	I	25	···	7	3.35	174	14
	B	←Same→							2.49 – 3.93		
6	A	Al/50 B	0.51	1170	I	19	···	6	2.15	222	19
	B	2024-T3 Al	0.51	480					1.27 – 2.49		
7	A	Al/50 B	0.51	1170	II	19	···	6	0.19	···	···
	B	2024-T3 Al	0.51	480					0.16 – 0.21		
8	A	Al/50 B	0.51	1170	IV	19	···	4	3.60	372	32
	B	2024-T3Al	0.51	480					3.43 – 4.00		
9	A	Al/47 B	1.02	1207	I	25	25	3	11.78	462	38
	B	Al/43 B[f]	1.52	1170					9.79 – 13.94		
10	A	Al/47 B	1.02	1207	IV	25	···	2	11.97	469	39
	B	Al/43 B[f]	1.52	1170					9.30 – 14.66		
11	A	Al/47 B	1.02	1207	II	25	···	2	1.26	···	···
	B	Al/43 B[f]	1.52	1107					1.12 – 1.41		
12	A	Al/47 B	1.02	1207	V	38	···	1	29.67	763	63
	B	Al/43 B[f]	1.52	1170							
13	A	Al/47 B	1.02	1207	VI	46	19	2	17.90	384	32
	B	Al/43 B[f]	1.52	1170					16.30 – 18.90		
14	A	Al/43 B	1.02	1207	VII	38	25	2	17.41	448	37
	B	Al/43 B[f]	1.52	1170					17.13 – 17.70		
15	A	6061-T6 Al	3.18	310	VIII	13	25	6	10.16	526	36
	B	Al/50 B	1.52	1434					8.50 – 10.93		
	C	6061-T6 Al	3.18	310							
16	A	Al/50 B	1.52	1490	I	25	38	3	15.80	409	27
	B	Al/50 B	5.08	1490					12.90 – 18.68		

[a]All joints tasted in tensile shear, except cross-tension joints.

[b]Spacimen type: I—Single spot weld. II—Single spot weld joint tasted in closs tension. III—Seam weld cut into 13 mm wide strips for testing. IV—Two spot welds on longitudinal axis of specimen. V—Four spot welds in a square pattern. VI—Four spot welds on a common line perpendicular to longitudinal axis of specimen. VII—Four spot welds in a diamond-shape pattern. VIII—Single spot weld in double lap joint.

[b]Numerator is average value; denominator is minimum and maximum value.

[c]Based on Al/B composite.

[d]Five test specimens were cut from one seam weld.

[e]Boron filaments coated with vapor-deposited silicon carbide.

[f]Material also contained 6 v/o stainless steel filaments in the two outer layers 90 deg to the boron fibers.

Al복합재료의 저항용접성은 섬유체적율과 제조시의 결함과 밀접한 관계가 있다. 섬유체적율이 증가하면 나케트 중 용융금속의 교반이 어렵게 되어, 계면에서 금속결합 형성이 곤란하게 된다. 따라서 체적율이 35~50%까지 증가하면 접합강도가 약 10% 정도 저하한다. 또한 복합재료 제조 공정에서 생긴 결함은 저항용접시 그 부분에서 급열되어 용융금속의 비산, 공공의 발생, 섬유 파손 등을 초래한다.[9,10] 따라서 용접 전에 초음파 탐상 등으로 미리 검사하는 것이 바람직하다.

최근, 저항용접법의 일종인 콘덴서 방전 용접법(Capacitor discharge welding)이 SiC/Al복합재료간 혹은 Al합금과 접합에 적용된 예가 보고되어 있다.[11] 이 접합법은 방전시간이 0.1ms로 아주 짧고, 용융부의 냉각속도가 10^6K/s로 대단히 빠르기 때문에 섬유와 기지합금인 Al과 거의 반응을 일으키지 않고, 접합결함도 없다. 또한 접합부 폭은 100μm 이하의 좁은 폭을 얻을 수있다.

5. 확산접합

확산접합은 복합재료의 제조공법의 주요 수단이 되기도 하지만 제 2차 가공법이기도 하다. 그러나, 제 2차 가공법으로서 접합의 경우는 반드시 양호한 결과를 얻을 수 있다고는 말할 수 없다. 특히 Al기지 복합재료간의 접합 혹은 Al합금과의 직접 접합에서는 만족한 결과가 얻어지지 않는다. 이것은 Al의 산화피막이 견고하고, 열적으로 안정하므로 접합을 방해하기 때문이다. Al합금의 확산접합에서는 100% 접합효율을 얻기 위해서 융점에 가까운 온도에서 접합부의 아주 큰 소성변형하도록 가압하면 가능하다.[2,3] 그러나 복합재료의 경우 이 조건으로 접합하면 기지인 Al과 섬유가 반응하여 섬유가 열화하거나, 가압력에 의해 섬유가 손상하기 때문에 불가능하다.

이 때문에 확산접합은 Al복합재료의 접합에 그다지 이용되지 않고 있다. 확산접합성을 개선하기 위해서 표면을 청정히 하거나, Ag, Cu, Al-Si합금 등을 삽입금속으로 접합하면 양호한 접합강도를 얻을 수 있다. 그림 3은 알루미나 단섬유강화 Al복합재료(6063)의 확산접합에서 접합면의 표면상태에 따른 접합강도를 나타낸 것이다.[4] 접합강도는 접합온도, 압력의 증가와 더불어 상승하고 접합면을 전해연마한 경우는 일부 조건에서 모재강도에 가까운 접합강도가 얻어지고 있다. 그러나 와이어 브레싱한 경우는 접합강도가 전해연마한 것보다 대단히 낮다. 이 원인으로서는 전해연마의 경우 접합면상에 기지금속으로부터 돌출한 섬유가 형성되고 이 돌출 섬유가 상대측의 Al금속중에 침입하므로 수위 앙카(Anchor)효과에 의해서 접합계면이 강화된 것으로 생각하고 있다. 이것과 달리 와이어 부래싱한 것은 섬유가 파손되어 입자들이 접합계면에 집접하여 기지금속간의 접합성을 저하시키기 때문인 것으로 생각하고 있다.

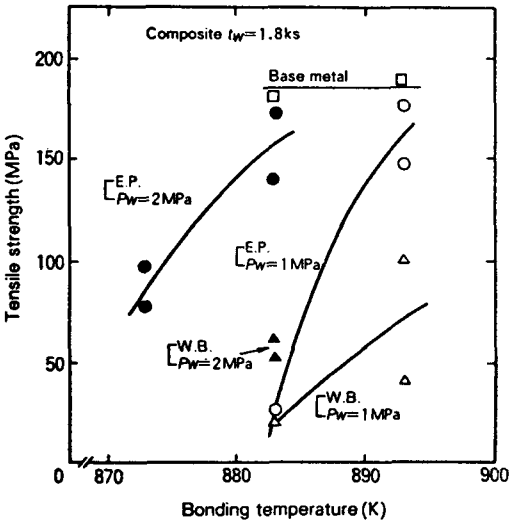

Fig. 3 Tensile strength of diffusion bonded joints of Al_2O_3/6063Al composites

확산접합성을 개선하기 위하여 Al과 공정조성을 이루는 Ag, Cu, Al-Cu합금 등을 삽입금속으로 사용하여 접합한 예도 있다. 표 3은 Ag, Cu 및 브레이징 삽입금속인 Al_2O_{17}를 삽입금속으로 사용하여 Al_2O_3/6063Al 복합재료를 확산접합한 경우, 접합재의 인장강도를 나타낸 것이다. 삽입금속을 사용하면 접합강도가 개선되고 있다. 특히 2017Al 및 Cu를 사용하는 경우 모재 강도와 거의 동일한 강도를 얻을 수 있다.

그림 4는 2017Al 합금을 삽입금속으로 하여, SiC/Al 복합재료와 공업용 순Al을 확산접합한 접합

Table 3. Effect of the insert metal on the tensile strength in diffusion bonded joints of Al_2O_3/6063Al composites

Insert metal	Temp. (K)	Press. (MPa)	T. S. (MPa)	Fracture location
None	873	2	98 97	B. I. B. I.
A2017 (75μm)	883	1	161	B. I.
	873	2	184 181	B. M. B. M.
		1	173	B. I.
A2017 (30μm)	883	1	177	B. I.
	873	2	187	B. I.
Ag (6μm)	873	2	188 145	B. I. B. I.
Cu (5μm)	883	1	125	B. I.
	873	2	179 181	B. M. B. I.
		1	162	B. I.
	823	1	119	B. I.

B. I. : bond interface. B. M. : Base metal

재의 강도를 나타낸 것이다. 전해연마한 경우가 에머리지로 연마한 것 보다 강도가 높다. 전해연마한 경우는 전술한 앙카효과 때문에 강도가 상승한 것으로 생각하고, 843K 이상에서 강도가 포화한 것은 접합계면이 모재 보다 강도가 낮기 때문인 것으로 생각하고 있다. 또한 Ag도금을 실시하여 접합성을 개선한 예도 있다.[16] B/7039Al(체적율 20%)복합재료를 Ag도금한 후 755K에서 28MPa의 압력으로 확산접합하였다. 이 온도에서는 액상이 생성되지 않는다. 접합이음부 형상은 이중 중첩이음이다. 접합효율은 약 50%이었다. 이것은 복합재료의 층간의 전단응력이 낮기 때문인 것으로 생각하고 있다.

한편 복합재료와 Ti합금을 확산접합하여 항공기 제품을 제조한 예를 소개하면 다음과 같다. 항공기 날개에 적용하기 위한 일환으로 B/Al(Vf50%)와 Ti-6Al-6V-2Sn의 lap시험편으로 확산접합의 평가가 행하여지고 있다.[17] 접합재는 복합재료의 성형과 동시에 확산접합하고, 열처리를 행한다. 접합조건은 783K~839K에서 34MPa압력으로 30분 이상 유지한다. Al-8%Si 또는 Al-12%Si 포일 형태

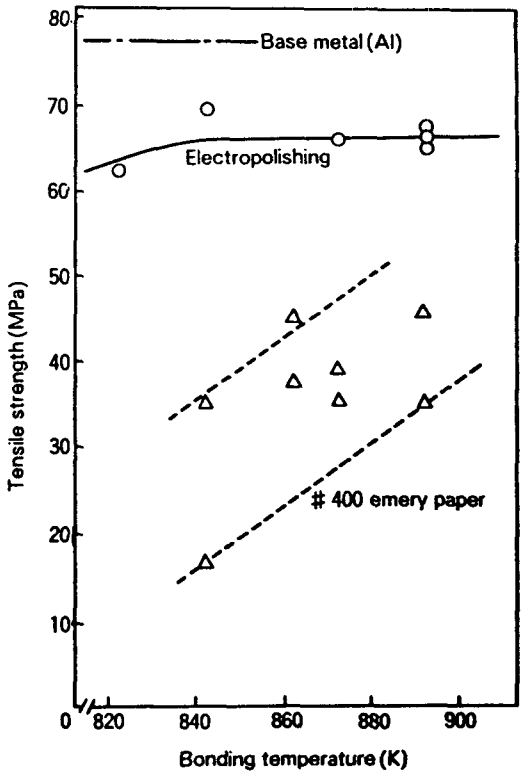

Fig. 4 Effect of the polishing method and bonding temperature on the tensile strength in diffusion bonded joints of Al_2O_3/6063Al composites

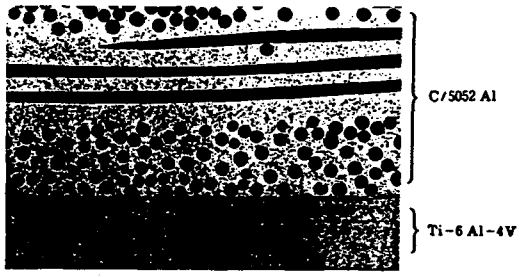

Fig. 5 Microstructure of diffusion bonded joint of C/Al composite and Ti-6Al-4V

의 삽입금속을 사용하였다. 전단강도로 44MPa정도 얻어졌다.

또한 C/5052Al 복합재료판(Vf 35%, 0°/90° 직교방향)과 Ti-6Al-4V판을 성형과 동시에 확산접합으

로 제조된 한 예도 있다. 그림 5는 접합부의 미세조직을 나타낸 것이다. 인장시험 결과, 파단은 접합부 계면에서 일어나는 것이 아니라, 복합재료내의 섬유층 사이에서 일어났다.

6. 브레이징 및 솔더링

Al기 복합재료의 브레이징은 Al합금 브레이징과 같이 Al-Si계 삽입금속을 사용할 수 있다. 브레이징은 가열이 단시간이라고 말하지만 870K 부근까지 가열하므로 그림 1에서 예상한 것과 같이 재료에 따라서 모재의 열화가 문제로 된다. BSiC, BB_4C, SiCc 섬유로 강화된 Al복합재료는 거의 열화가 일어나지 않지만, B/Al의 경우는 16~20% 강도저하가 일어난다. 따라서 브레이징 온도를 될 수 있는 한 낮게 하고, 단시간 처리할 필요가 있다. 가열시간의 단축에는 저항가열법을 사용하는 것이 유리하다[4]. 또하나의 방법으로는 복합재료의 표면에 반응 억제층을 피복하는 방법이다. 또한 젖음성을 개선하기 위해서는 Al-Si 합금에 Mg을 첨가하는 것이 유리하다[19].

접합부이음부의 형상에 따라 접합강도도 차이가 있다. 표 4는 B/6061Al(Vf50%) 복합재료를 Al-Si계 삽입금속으로 접합한 경우, 접합 이음부 형상에 따른 강도를 비교한 것이다[16]. 여기서 Butt with forked doubler 형이란 그림 6에 표시하고 Single lap shear는 그림 2의 (c), Butt with doublers는 (b), Scarf는 (c)이다. 여기서 강도가 제일 우수한 것은 2중으로 보강한 이음부이다.

Table 4. Tensile strength and joint efficiency of B/Al composite joints brazed with Al-8%Si and Al-12%Si

Joint Form	Tensile Strength (MPa)	Joint efficiency (%)
Single-lap shear	510	49
Butt with doublers	820	79
Scarf, 2 deg	640	62
Scarf, 5 deg	320	31
Butt with forked doublers	910	88

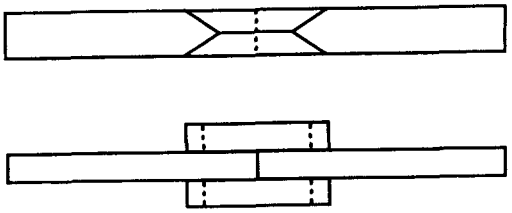

Fig. 6 Brazed butt jount with forked doublers

C/Al 복합재료의 확산접합에서는 B/Al계와 같이 Al-Si계가 사용되고, Mg의 첨가가 기지금속 및 C 섬유와 삽입금속과의 젖음성이 개선된다고 알려져 있다[6]. 그러나 C/Al계 복합재료를 823K 이상 가열하면, 계면에서 Al_4C_3가 생성하여 강도가 저하므로 가열시간의 단축, 저융점 삽입금속의 선택 등과 같은 방법을 고려하는 것이 바람직하다.

Table 5. Tensile properties of joints brazed B/Al composite to Ti alloy

Test temp. (℃)	Lap (mm)	Spec, (Quant.)	Shear Strength (MPa)	Tensile[a] Stress (MPa)	Joint[b] Efficiency (%)
20	9.5	1	77.1	414	27
20	12.7	3	39.0	276	19
20	25.4	3	34.6	496	33
177	9.5	3	41.4	207	15
177	12.7	3	27.2	193	14
177	25.4	3	30.4	427	31
288	6.2	3	19.6	70	7
288	12.7	3	28.3	200	19
288	25.4	3	27.1	386	36

※ Double-shear joints between Al/B and Ti-6V-2Sn sheet.
[a]Average tensile stress at specimen failure.
[b]Based on Al/B composite.

Al기 복합재료와 Ti합금과 브레이징하여 항공기의 제품을 제조하여 실용화한 예를 소개하면 다음과 같다. B/6061Al(Vf50%)와 Ti-6Al-6V-2Sn을 Al-12%Si 삽입금속으로 858K×300s 조건으로 브레이징한 예가 있다. 표 5는 접합재의 강도를 표시한 것이다. 접합효율은 아주 낮은 편이다. 그림 7은 Al기 복합재료와 Ti합금과 브레이징하여 항공기 동체 판넬을 제작한 예이다. Borsic/Al 복합재료의

판이 Ti의 하니컴 코어와 프레임이 브레이징하여 제작한 것이다. 또한 기존의 Ti-6Al -4V제 Stifferner를 그림 8과 같이 B/Al(Vf 46%)로 브레이징하여 보강한 예가 있다[16]. 보강하지 않은 경우보다 700K 온도까지 범위에서 25% 강도 증가를 얻을 수 있었다고 보고하고 있다.

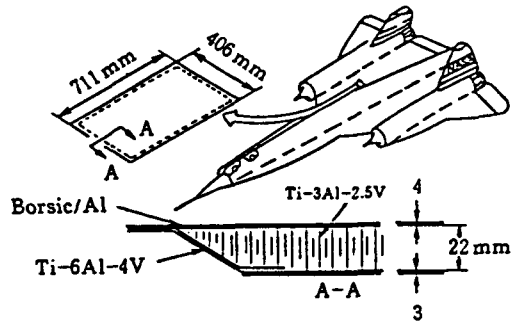

Fig.7 Borsic/Al composite-Ti panel

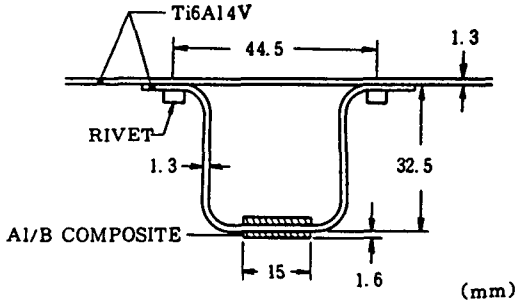

Fig. 8 Cross-section of stiffener specimen reinforced with B/Al composite

솔더링은 접합온도가 낮기 때문에 사용목적에 따라서 유효한 접합법이다. 표 6은 B/6061 Al 복합재료판을 토치로 솔더링한 접합부의 강도를 나타낸 것이다. 어떤 삽입금속을 사용하여도 접합강도는 우수하지만, Cd-Zn계는 접합 후 냉각도중에 균열이 자주 발생한다[16]. 이 경우 복합재료와 Al합금을 미리 무전해 Ni도금을 하였기에 솔더의 젖음성 문제를 해결하였기에 강도가 개선된 것으로 생각하고 있다. 표 7은 Zn-5Al-5Cu 삽입금속으로 B/6061Al(Vf50%) 복합재료를 솔더링한 접합재의 강도를 나타낸 것이다. 브레이징한 결과인 표 3과 비교하여 보면, 솔더링한 접합재는 브레이징한 것과 거의 동등한 강도를 가지는 것이 특징이다.

Table 6. Tensile properties of B/Al soldered joints

Solder composotion	Test temp. (K)	Failure stress (MPa)	Failure mode
Cd-5%Ag	294	81	1
	366	89	1
	422	69	1
	478	47	2
	533	39	3
	588	5.6	3
Zn-5%Al	294	80	1
	366	94	1
	588	30	2
Cd-17.5%Zn	294	74	1
	366	90	1
	422	59	2

※ Failure mode :
1. Composite interlaminar shear
2. combination of 1 and 3
3. Braze alloy adhesive and cohesive failure

Table 7. Tensile strength and joint efficiency of B/Al composite joints soldered with Zn-5%Al-5%Cu

Joint Form	Tensile Strength (MPa)	Joint efficiency (%)
Single-lap shear	590	57
Butt with doublers	790	77

7. 결 언

이상과 같이 각종 용접법이 Al복합재료에 적용되고, 시작품이 제작되고 있으나, 많은 문제가 남아 있는 것을 알 수 있다. 앞으로 이 재료를 응용범위를 확대하기 위해서는 많은 노력을 기울려야 할 것으로 생각된다. 특히 우리나라에서는 이 재료의 제조에 대한 연구는 활발히 이루어지고 있으나, 접합에 대한 연구가 거의 전무한 상태이다. 앞으로 우리나라에서도 연구가 활발히 이루어지기를 기대하면서 끝을 맺는다.

참 고 문 헌

1. E. Fitzer, G. Jacobson: ICCM-IV(1982) p. 1315
2. 鹽田一路 : 表面科學, 6-4 (1985) 111
3. Iseki. T : J. of Mater. Sci. 19(1984) 1692
4. G. E. Metzger : WRC Bulletin, 207(1975) 1
5. J. S. Ahearn. and C. Cook : Metal Const,. 14-4 (1982), 192
6. D. M. Goddard, R. T. Pepper : Weld. J., 51-4(1972), 178s
7. J. R. Kennedy : weld. J., 52-3 (1973) 120s
8. V. I. Ryazantsevv. V. Λ. Fedoseev : Auto. Weld No. 6(1980) 17
9. M. S. Hersh : Weld, J., 47-9 (1968) 404s
10. M. S. Hersh : Weld. J., 52-8(1973), 370
11. J. H. Devaltian : Weld. J., 66-6 (1987) 33
12. 桃野 : 新金屬學會 講演概要, (1986. 10) 89
13. 圓城敏男. 池內建二. 古川潔 : 輕金屬, 35-7 (1985) 388
14. 圓城 : 日本鎔接學會 論文集 Vol. 5-2(1987) P. 317
15. 圓城敏男. 池內建二 : 溶接學會論文集 5 (1987) 3. p. 317
16. G. E. Metzger : WRC Bulletin, (1975), 207
17. P. J. Donahup : ΛFML-TR-74-105, (1974)
18. 坂本昭 : 溶接學會誌, 56(1978), 20
19. V. L. Grishin, Λ. N. Volchkov : Weld. Prod., No. 8(1979) 22
20. 板本昭 : 次世代産業技術國際シンポジウム, (1988) 69