

일본의 브레이징 기술과 동향(1)

—알루미늄 브레이징—

정재필*·강춘식**·박영조***·황선효***

Brazing Technology and Trend in Japan(1)

—Aluminum Brazing—

J. P. Jung*, C. S. Kang**, Y. J. Park*** and S. H. Hang***

1. 서 론

브레이징은 모재보다 용점이 낮은 재료를 접합 매체(납재)로 하여, 450°C 이상의 온도에서 모재를 녹이지 않고 납재만 용융시켜, 모재의 틈새에 용융된 납재를 침투(모세관 유입)시킴으로써 접합하는 방법이다. 브레이징은 (1) 한번에 여러 곳을 접합할 수 있어 대량생산이 용이하고, (2)이종금속의 접합이 용이하며, (3)복잡한 면의 접합이 가능하고, (4)박판 및 細線의 접합이 용이하며, (5)기밀, 수밀에 강하고 접합 강도가 우수하다는 장점으로 인해 적용범위가 점차 확대되고 있다¹⁾. 국내에서도 현재 수많은 업체에서 브레이징을 제품생산에 적용하고 있으나 브레이징 기술은 그리 높지 않은 상태이다. 그러나 최근 브레이징분야에 대한 기술개발 욕구가 증대되고 있는 상황이어서, 브레이징에 대한 기술과 정보의 보급 필요성이 대두되고 있다. 이에 필자는 일본의 브레이징 자료를 중심으로 브레이징에 관한 기초 지식을 기술하고 덧붙여 연구동향을 소개하고자 한다.

2. 알루미늄 브레이징 기술 동향

알루미늄은 열전도성이 좋고 銅에 비해 가벼워서(30% 경량화 가능) 열교환기를 중심으로 많이 사용되고 있다²⁻⁵⁾. 특히 수송기계에 있어서는 일본의 경우 거의 100% 알루미늄제이고, 라디에터는 알루미늄화가 진행되고 있으며, 공조기용 알루미늄도 거의 브레이징으로 접합되고 있다. 그림1은 일본 및 주요 국가에서 자동차용 각종 열교환기의 알루미늄화 비율을 보여 주는 것이다⁶⁾. 일본에서는 콘덴서, evaporater, 오일 쿨러 등이 100% 알루미늄화로 진행된 것을 알 수 있다. 수송기계용 열교환기 등에 사용되는 알루미늄은 매년 얇아지고 고성능화되고 있다. 그러나, 알루미늄이 얇아질수록 납재에 의한 침식과 진공 브레이징성, 비부식성 플럭스를 사용할 때 브레이징이 나빠질 가능성이 있으므로 주의가 필요하다.

열교환기외에도 자동차 차체의 space frame으로써 하니컴 구조의 브레이징부품을 住友경금속 등에서는 소개하고 있다^{7, 8)}. 또, 일본 경금속에서는

* 정회원, 한국기계연구원 용접연구부
현, 오사카대학 용접공학연구소 객원연구원

** 정회원, 서울대학교 금속공학과

*** 정회원, 한국기계연구원 용접기술연구부

各 国 熱 交 換 器	미국	유럽	일본
condenser	●	●	●
evaporater	●	●	●
radiator	◐	◐	◐
heater	◐	◐	◐
oil cooler	●	◐	●

● 알루미늄화 100%

그림 1. 자동차용 열교환기의 알루미늄화율

오사카 關西신공항의 버스터미널 건축에 1620×975mm의 대형 하니컴 판넬을 브레이징으로 제작하여 공급하였다⁹⁾. 브레이징으로 제조된 하니컴 판넬은 고강성, 경량, 휨 가공이 가능하다는 점 등 때문에 차량, 선박 등 장래에 활용이 더욱 기대되는 품목이다.

표1은 1980년 이후 일본의 경금속학회에서 발표된 브레이징 관련 논문의 변화추이를 보인 것으로¹⁰⁾, 일본의 경금속 브레이징기술 연구동향을 짐작할 수 있다. 이 표로부터 1975년 진공 브레이징이 보급된 이후 브레이징부의 내식성에 관한 연구가 많아졌고, 열교환기의 박판화가 진행되면서 브레이징부에 대한 고온특성 연구가 많아졌음을 알 수 있다. 또, 접합

process로써는 플럭스의 사용이 불필요한 진공 브레이징에 관한 연구가 많음을 알 수 있다.

알루미늄 브레이징에 관한 시험 평가 방법에 대해서도 꾸준히 연구되고 있는데, 1992년 알루미늄 브레이징 sheet에 대한 JIS 규격이 개정되었으며, 개정 배경에 대한 보고가 있다¹¹⁾. 그외, 진공 브레이징을 이용한 대형 열교환기(폭 1200mm×높이 1300mm×길이6400mm)를 실용화 개발한 연구¹²⁾가 있으며, 참고자료로 알루미늄합금 및 용접부의 피로 강도에 대하여 34회 연속 보고된 해설 기사도 있다¹³⁾. 본 항에서 언급하지 아니한 브레이징 기술 동향은 아래의 각 항목이나 추후 보고에서 언급하기로 한다.

3. 알루미늄 브레이징법의 분류

알루미늄의 브레이징은 플럭스(flux)를 사용하는 방법과 사용하지 않는 방법 2가지로 크게 나눌 수 있다. 플럭스를 사용하는 방법에는 토치(torch) 브레이징, 로(爐) 브레이징, 침적(dip) 브레이징 등이 있고, 플럭스를 사용하지 않는 방법에는 불활성 가스 브레이징(VAW법), 진공 브레이징 등이 있다. 플럭스를 사용하는 방법에는 부식성 플럭스(염화물계 플럭스) 사용법과 비부식성 플럭스(불화물계 플럭스) 사용법으로 다시 세분할 수 있다(그림2 참조)¹⁴⁾. 일본에서 현재 대량생산에 적용하고 있는 방법은 로를 이용한 염화물계 플럭스법, 비부식성

표 1. 1980년 이후 輕金屬學會 브레이징 관련 논문 발표내용 변천

테마分類	1980		1981		1982		1983		1984		1985		1986		1987		1988		1989		1990		1991		合計
	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80		
열교환기, braz.부 내식성	1	4	3	4	2	1	3	1	2		1	2	2	2	1		1	1					1		32
고溫特性 sag, 고온강도, 기계적성질, 에로우전							1		1		3	2	2		1	1	1	2					3		18
밀폐공간, 드론캠형 열교환기 braz.										2	1		1						1	2		2	1		10
불화물계 비부식성 플럭스											2	1		1	1	1						1			7
braz.기초 流動性, 組織, 酸化皮膜	1															2						1	1		9
眞空braz의 Mg 蒸發				1													2		3			1	1	1	5
fluxless braz. 眞空 霧囲氣	(1)		(2)	(2)	(2)	(2)	(1)(3)	(1)(1)	(1)						(1)(1)		(1)(1)	(3)(3)	(3)(3)	(3)(3)	(2)	(30)	(1)	(3)	(30)
Mg含有材 braz.성							1			1					(1)			1	1						4
기타(티탄, 복합재, 분말braz.)										1							1		1						3
合計	2	4	3	5	2	1	5	1	5	4	3	6	4	6	5	2	3	3	8	3	4	4	7		91

()안은 중복된 수임.

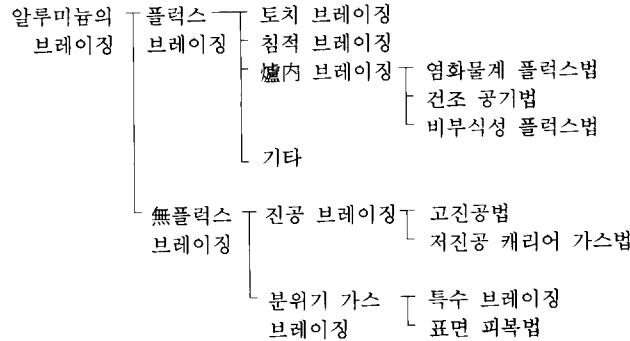


그림2. 알루미늄 브레이징법의 분류

표 2. 각종 브레이징법의 종류와 설비 및 용도

브레이징기술	記号	設 備					用 途 例
		前 処 理	flux	乾 燥 炉	braz. 炉	後 洗 淨	
침적법	DB	○	-	○	○	○	航空機用熱交(oil cooler), 産業用熱交 (oil cooler, 冷却器), 放熱fin
토치법	TB	○	○	-	-	○	熱交修理用, 小物部品
炉内法	FB	○	○	△	○	○	自動車熱交(condenser, inter cooler)
乾燥空氣분위기법 (ALCOA/393)	DAB	○	○	○	○	○	自動車熱交(condenser)
비부식성 플럭스법 (ALCAN/Nocolok, Showa/AD, Furukawa/FN)	NB	○	○	○	○	-	自動車熱交(condenser, radiator, heater) 放熱 fin
真空法	VB	○	-	-	○	-	自動車熱交(evaporater, oil cooler, radiator), 産業用熱交, 放熱 fin
불활성가스 분위기법 (VAW, KD, Borg-Warner)	IGB	○	-	-	○	-	自動車熱交(inter cooler, oil cooler, radiator)

플럭스법, 진공법 등이 있다.

표2는 알루미늄의 브레이징에 사용되는 각종 process의 설비와 사용 예를 보인 것이다¹⁵⁾.

그림 3은 알루미늄 브레이징법의 변천과정과 추후 일본에서의 사용 가능성을 보여주는 것이다¹¹⁾. 토치 브레이징과 침적 브레이징은 앞으로도 특수한 용도로 조금 남아 있을 것으로 보인다. 그러나 열교환기와 같은 대량 생산에는 NOCOLOCK 방법과 고진공 브레이징법으로 집약화될 것으로 보인다.

年代		年代					
		1960	1970	1980	1990	2000	
有	強化系	TB(토치)	—————→				
		DB(dip)	—————→				
		FB(로)	—————→				
		DAB(A393)	—————→				
	弗化系	NB(노코록)	—————→				
無	—	VB(高真空)	—————→				
		CB(低真空)	—————→				
		IGB(VAW)	—————→				

그림3. 각 브레이징법의 변천

4. 알루미늄 브레이징 재료

4.1 모재

알루미늄은 표3에 보인바와 같이 합금 조성에 따라 1000-7000계 까지 나눌 수 있다¹⁷⁾. 이 중에서 1000, 3000, 4000, 5000계 합금을 非熱處理系, 2000, 6000, 7000계 합금을 熱處理系 합금이라고 한다.

非熱處理계에서 브레이징 모재로 적당한 것은 1000, 3000 혹은 5000계 중 Mg 함량이 적은 것이다. 4000계 합금은 납재로써 사용된다. 熱處理계 중 6000계에서는 6063, 6951, 6061, 6N01 등이 주로 사용된다. 특히 6951은 용융온도(고상선 온도 619℃)가 다른 것들에 비해 높기 때문에 브레이징성이 양호하다. 그래도 일반적으로 사용되는 1100, 3003 보다 고상선이 20℃이상 낮기 때문에 브레이징 온도의 엄격한 관리가 필요하다. 이합금은 적절한 열처리를 하면 비열처리 합금에 비해 2배 정도의 강도를 얻을 수 있기 때문에, 항공기 엔진의 오일쿨러, 자동차 라디에이터의 플레이트나 핀 재료로써 사용되고 있다. 2000계는 용점이 낮기 때문에 브레이징용으로는 거의 사용하지 않고 솔더링(soldering, 연납땜)용 모재로 사용된다. 7000계 합금은 일반적으로 용점이 낮기 때문에 브레이징용 모재로써 적당하지 않다. 그러나, 7N01, 7003등은 고상선 온도가 607℃ 이상이어서, 브레이징 온도를 605℃ 이하로 관리하면 브레이징이 가능하며, 강도가 높기 때문에 비교적 높은 강도를 필요로 하는 볼트, 너트 등의 부품에 사용할 수 있다.

알루미늄합금은 그 조성에 따라 브레이징성이 영향을 받는데, 표4는 이를 정리한 것이다¹⁸⁾. 즉, 알루미늄에 銅이 첨가된 합금(2000계)과 5056, 5083등 마그네슘 함량이 높은 5000계열 합금이 브레

이징성이 나쁘다는 것을 알 수 있다. 또 3004, 5050, 7N01과 같이 Mg 함량이 0.8% 이상인 것도 無플럭스 브레이징을 할 경우 브레이징성이 표4의 B등급보다 저하된다.

표5는 각종 알루미늄 합금의 대량생산 브레이징법에 대한 브레이징성을 나타낸 것이다¹⁵⁾. Mg 함량이 많은 5000 계열은 산화피막의 영향으로 납재의 wetting성이 나빠지고, 모재 자체의 용점이 저하되어 브레이징이 저하된다. 특히 非腐食性 플럭스를 사용하는 브레이징(NB)의 경우, 플럭스와 Mg와의 반응이 격심하여 문제를 일으키므로 주의할 필요가

표 4. 알루미늄합금의 브레이징성

합 금	braz. 성	熔融溫度範圍(℃)
1050	A	646~657
1100	A	643~657
2014	D	510~638
2017	D	513~641
2024	D	502~638
3003	A	643~654
3004	B	629~654
5005	B	632~654
5050	B	624~652
5052	C	593~649
5083	D	579~641
5056	D	568~638
5154	C	593~643
6061	B	593~652
6N01	B	615~652
6063	A	616~654
6151	B	588~649
6951	A	616~654
7003	B	615~650
7075	D	477~635
7N01	B	607~646

注 : A ; 양호 B ; A보다 약간 나쁨
C ; 예비실험필요 D ; 어려움

표 3. 첨가원소별 알루미늄 합금의 분류

用 途 別		主要添加元素	JIS 記号 (JIS H 4000-1976)	代表的材料記号
展 伸 材	非熱處理 合 金	99.0% Al 以上	A 1 × × ×	1080, 1200, 1100
		Al-Mn 系	A 3 × × ×	3003
		Al-Si 系	A 4 × × ×	4043
		Al-Mg 系	A 5 × × ×	5052, 5056, 5083
材	熱 處 理 合 金	Al-Cu 系	A 2 × × ×	2014, 2017, 2024
		Al-Mn-Si 系	A 6 × × ×	6061, 6063
		Al-Zn 系	A 7 × × ×	7075, 7N01, 7003

표 5. 알루미늄합금의 브레이징성

合金名	溶融溫度範圍 °C	NB 法	FB 法	VB 法
1050	646~657	A	A	A
1100	643~657	A	A	A
2014	510~638	D	D	D
3003	643~654	A	A	A
3004	629~654	C	B	C
3005	638~657	B	A	A
3105	638~657	B	A	A
5005	633~652	B	A	A
5050	627~652	C	A	B
5052	593~649	D	B	C
6063	616~652	B	A	A
6951	616~654	B	A	A
6061	593~652	C	B	C
7072	646~657	A	A	A
7N01	607~646	C	B	C

注 : 1. A, B, C, D ; 표4와 동일
 2. NB ; 질소분위기 braz., 불화물계 flux 사용
 FB ; 더기爐 braz., 염화물계 flux 사용
 VB ; 진공중 braz., 10⁻⁵ torr

있다.

4. 2 납재

납재는 사용하려는 모재, 브레이징 방법 및 온도에 따라 선택이 달라진다. 브레이징 납재는 진공 브레이징이 아닌 경우에는 Al-Si 합금, 진공브레이징일 경우에는 Al-Si-Mg 합금²⁰⁾을 주로 사용하고 있

다. 표6 및 표7은 JIS에 규정된 알루미늄(Al)용 납재의 종류와 화학 성분을 보인 것이다.

그림 4는 모재의 종류에 대한 적정 납재의 선택과 브레이징 온도에 대하여 나타낸 것이다. 단, 여기서 납재 4245는 1980년도 JIS 개정시에 삭제되었다.

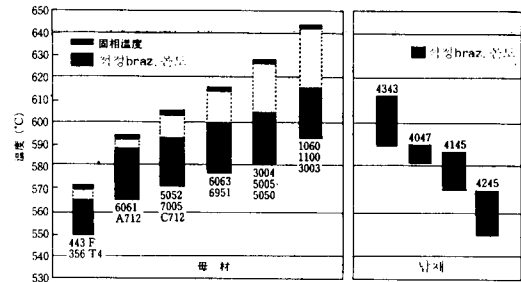


그림 4. 알루미늄 모재의 고상온도 및 적정 브레이징

브레이징 재료의 형태는 wire, 박판, ring, paste 등 여러가지가 있으며, 알루미늄의 경우는 알루미늄 모재(심재)에 납재를 도금한 브레이징 sheet를 많이 사용하고 있다. 이때 도금된 납재는 알루미늄 판재 전체 두께의 5-15% 정도이다. 브레이징 sheet는 1992년 JIS 규정이 개정된 것으로 보고되어 있다¹¹⁾. 개정된 JIS에는 브레이징 sheet가 이전의 14종에서 62종으로 대폭 증가되어, 일본의 알루미늄 브레이징 기술에서 열교환기등 대량생산품들이 확대 되었음을 말해주고 있다. 표 8, 9, 10은 각각 개정된 브레이징 sheet의 心材, 기호, 종류를 나타낸 것이고,

표 6. 알루미늄 납재의 종류 및 기호

種 類		記 号	參 考		
合金番号	形, 狀		固相線溫度 °C	液相線溫度 °C	braz. 온도 °C
BA 4343 ¹⁾	板, 条	BA 4343 P	577	615	600~620
BA 4045 ¹⁾	板, 条	BA 4045 P	577	590	590~605
BA 4145	線 捧	BA 4145 W	520	585	570~605
		BA 4145 B			
BA 4047	線 捧	BA 4145 P	577	580	580~605
		BA 4047 W			
BA 4003 ²⁾	板, 条	BA 4047 B	559	607	595~620
		BA 4047 P			
BA 4004 ²⁾	板, 条	BA 4003 P	559	591	590~605
BA 4005 ²⁾	板, 条	BA 4004 P	559	582	585~605
BA 4N04 ²⁾	板, 条	BA 4005 P	559	579	580~600
		BA 4N04 P			

注 : ¹⁾ braz. sheet 皮材로 사용
²⁾ 진공 braz. sheet 皮材로 사용

표 7. 알루미늄 납재의 화학성분

元素 合金番号	化 學 成 分 (wt%)										
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	기타		Al
									各	合 計	
BA 4343	6.8~8.2	0.8以下	0.25以下	0.10以下	-	-	0.20以下	-	0.05以下	0.15以下	殘部
BA 4045	9.0~11.0	0.8以下	0.30以下	0.05以下	0.05以下	-	0.10以下	0.20以下	0.05以下	0.15以下	殘部
BA 4145	9.3~10.7	0.8以下	3.3~4.7	0.15以下	0.15以下	0.15以下	0.20以下	-	0.05以下	0.15以下	殘部
BA 4047	11.0~13.0	0.8以下	0.30以下	0.15以下	0.10以下	-	0.20以下	-	0.05以下	0.15以下	殘部
BA 4003	6.8~8.2	0.8以下	0.25以下	0.10以下	2.0~3.0	-	0.20以下	-	0.05以下	0.15以下	殘部
BA 4004	9.0~10.5	0.8以下	0.25以下	0.10以下	1.0~2.0	-	0.20以下	-	0.05以下	0.15以下	殘部
BA 4005	9.5~11.0	0.8以下	0.25以下	0.10以下	0.20~1.0	-	0.20以下	-	0.05以下	0.15以下	殘部
BA 4N04	11.0~13.0	0.8以下	0.25以下	0.10以下	1.0~2.0	-	0.20以下	-	0.05以下	0.15以下	殘部

표 8. 심재 및 7072의 화학성분

호출번호	合金番号	化 學 成 分 %								
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	기타 他		Al
								各	合 計	
1	3003	0.6以下	0.7以下	0.05~0.20	1.0~1.5	-	0.10以下	0.05以下	0.15以下	殘部
2	3N03	0.6以下	0.7以下	0.05~0.20	1.0~1.5	-	0.5~2.5	0.05以下	0.15以下	殘部
3	3N23	0.6以下	0.7以下	0.05以下	1.0~1.5	-	0.5~2.5	0.05以下	0.15以下	殘部
4	6951	0.20~0.50	0.8以下	0.15~0.40	0.10以下	0.40~0.8	0.20以下	0.05以下	0.15以下	殘部
-	7072	Si+Fe	0.7以下	0.10以下	0.10以下	0.10以下	0.8~1.3	0.05以下	0.15以下	殘部

표 9. 브레이징 sheet의 구성

構 成	記 号
편면 납재clad	1
양면 납재clad	2
편면납재/편면7072clad	3

그림5는 브레이징 sheet의 일 예를 나타낸 것이다.

금후 JIS에서 규격화할 것으로 예상되는 브레이징 재료는 표11과 같다¹¹⁾. 금후 일본의 브레이징 기술 개발과 연관된 것이라 주목해 볼 필요가 있다.

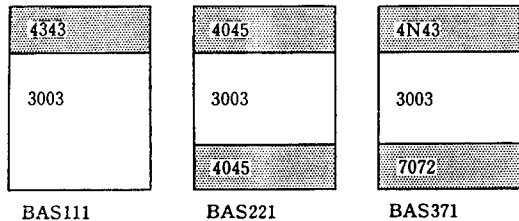


그림5. Brazing sheet 구성의 예

4. 3 브레이징 sheet의 내식성과 sag성

플럭스를 사용하여 브레이징한 열교환기는 브레이징시에 다음과 같은 반응에 의해, 플럭스로 부터 Zn이 석출, 확산된다. 이렇게 되면 알루미늄 표면에 Zn 확산층이 형성되고(그림6 참조), 이것이 양극이 되어 우선 부식되므로 알루미늄 표면에 전면 부식이 일어난다¹⁸⁾.

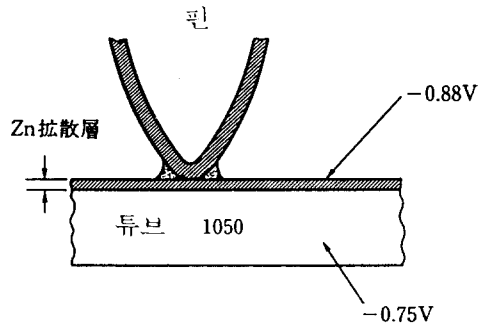


그림6. 플럭스를 사용하여 브레이징한 열교환기에 형성된 아연 확산층

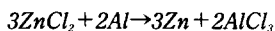
표 10. 브레이징 sheet 종류의 기호

Braz. sheet의 종류의 기호			參 考				Braz. 온도 ℃	
Braz. sheet의 구성 기호			皮 材		心 材			
1	2	3	合金番号	호출번호	合金番号	호출번호		
BAS 111 P	BAS 211 P	BAS 311 P	4343	1			600-620	flux braz.
BAS 121 P	BAS 221 P	BAS 321 P	4045	2	3003	1	590-605	
BAS 171 P	BAS 271 P	BAS 371 P	4N43	7			600-620	
BAS 181 P	BAS 281 P	BAS 381 P	4N45	8			590-605	
BAS 112 P	BAS 212 P		4343	1			600-620	flux braz.
BAS 122 P	BAS 222 P		4045	2	3N03	2	590-605	
BAS 172 P	BAS 272 P		4N43	7			600-620	
BAS 182 P	BAS 282 P		4N45	8			590-605	
BAS 113 P	BAS 213 P		4343	1			600-620	flux braz.
BAS 123 P	BAS 223 P		4045	2	3N23	3	590-605	
BAS 173 P	BAS 273 P		4N43	7			600-620	
BAS 183 P	BAS 283 P		4N45	8			590-605	
BAS 131 P	BAS 231 P	BAS 331 P	4004	3			590-605	전공 braz.
BAS 141 P	BAS 241 P	BAS 341 P	4005	4	3003	1	585-605	
BAS 151 P	BAS 251 P	BAS 351 P	4N04	5			580-600	
BAS 161 P	BAS 261 P	BAS 361 P	4104	6			590-605	
BAS 132 P	BAS 232 P		4004	3			590-605	전공 braz.
BAS 142 P	BAS 242 P		4005	4	3N03	2	585-605	
BAS 152 P	BAS 252 P		4N04	5			580-600	
BAS 162 P	BAS 262 P		4104	6			590-605	
BAS 133 P	BAS 233 P		4004	3			590-605	전공 braz.
BAS 143 P	BAS 243 P		4005	4	3N23	3	585-605	
BAS 153 P	BAS 253 P		4N04	5			580-600	
BAS 163 P	BAS 263 P		4104	6			590-605	
BAS 114 P	BAS 214 P	BAS 314 P	4343	1			600-620	flux braz.
BAS 124 P	BAS 224 P	BAS 324 P	4045	2	6951	4	590-605	

표 11. 금후 규격화가 예상되는 합금

種類	合金系	要求性能
납재	Al-Si-Zn	陽極酸化性(器物, 建材)
	Al-Si-Mg-(Sn, In)	義城陽極效果
	Al-Si-(低 Mg)	진공 braz. 성
braz. sheet 心材	Al-Mn-Cu-(Ti)	耐食性, 高强度
	Al-Mn-Mg	高强度
	Al-Mn-Si-Zr	耐sag性
	Al-Zr	熱伝導性
	Al-Zn-Mg	高强度(自然時效性)
	Al-Mn-(Sn, In)	特性效果

아연 확산층 형성 반응 :



上記 부식에 대한 대책으로는 핀을 양극으로 하여 튜브와의 전위차를 크게하는 방법이 있다. 이를 위해 핀에 적절한 원소를 첨가하여야 하는데²²⁾, 실용

화된 것으로 Al-Mn계 합금(3003, 3203)에 Zn, Sn, In 0.01-0.2% 정도이다. 핀외에 튜브 재질을 3003이나 그 개량형 혹은 2000계 Al-Cu합금으로 실용화하고 있기도 하다.

진공 브레이징한 열교환기에서도 그림7과 같이 튜브가 陽極이 되어 브레이징부 인접부에서 부식이 일어난다. 이의 방지를 위해서도 핀을 희생 양극으로 만들어야 하는데, 희생 양극재로 Al-Mn-Sn계

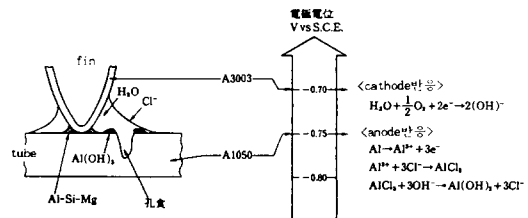


그림7. 진공브레이징된 열교환기의 부식기구

핀을 만들어 사용하고 있다²⁰⁾.

브레이징 sheet로 0.1-0.2mm의 박판을 사용할 때 핀이 찌그러지는 현상이 있는데 이것을 sag성이라 한다. 이러한 현상은 납재가 심재로의 확산이 큰 것이 한 원인이다. 핀의 제조시 최종 압연율이 sag성에 큰 영향을 미치는데, 최종 압연율이 수 % 정도로 낮을 경우, 브레이징시 심재가 용융된 납재로 용출되어 심재의 두께가 얇아지게 된다. 반면 최종 압연율이 지나치게 높을 경우에도 미세한 粒界로 Si가 확산되어 입계에 액상이 생성되므로서 핀의 강도가 저하된다¹⁸⁾. 이의 방지 대책으로는 심재 중의 불순물 제어, Zr의 첨가, 중간 소둔이나 냉간 가공과 같은 제조 조건의 최적화가 필요하다. 일본의 輕金屬용접구조협회 저온접합위원회에서는 sag 시험 방법을 최적화하여 발표한 바 있다²⁰⁾. 제시된 sag 시험 방법은 그림8과 같다. sag거리(sag distance)는 접합조건에 따라 달라지는데, 일 예를 들면, 그림9에서 보인 바와 같이 접합시간이 길어지면 sag거리도 커진다²⁰⁾.

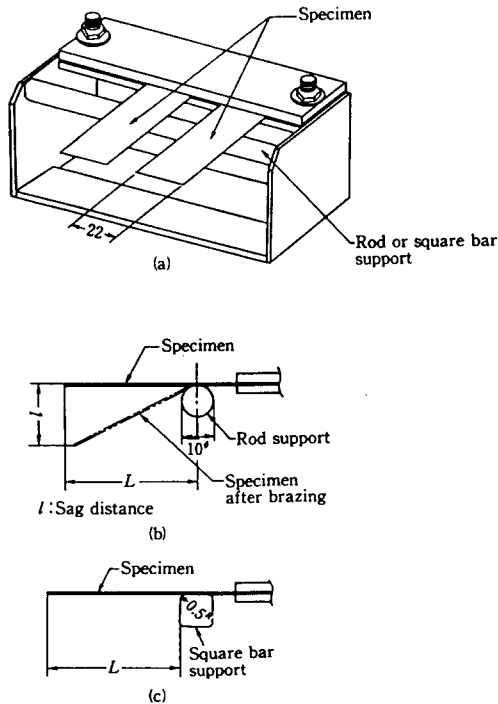


그림8. Sag시험편 : (a)외관형상 (b)봉 지지의 경우 형상

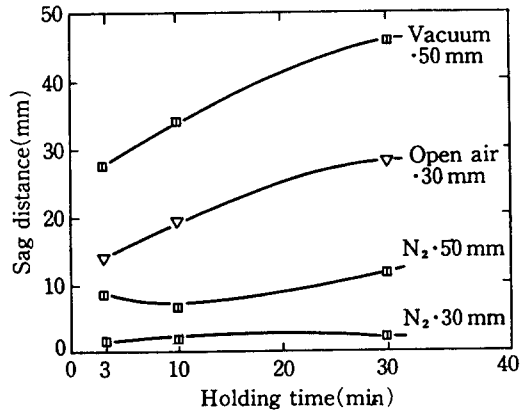


그림9. Sag distance에 미치는 유지시간의 영향(600°C)

4. 4 플럭스

플럭스는 용융된 알루미늄 표면을 피복하여 산화막을 제거하고, 재산화를 방지하며, 납재의 유동성을 개선시켜 브레이징 성능을 향상시키는 역할을 한다. 플럭스는 토오치 브레이징, 침적 브레이징, 로 브레이징 등에 사용한다.

그림10은 플럭스에 의해 알루미늄의 산화 피막이 제거되는 것을 개념적으로 보인 것이다¹⁶⁾. 즉, 브레이징 온도에서 알루미늄 모재와 산화 피막은 열팽창 차이에 의해 산화 피막에 균열이 발생하고, 이 균열 틈새로 플럭스가 침투한다. 침투된 플럭스 중의 용존 산소의 영향으로 알루미늄 모재는 양극이 되어, $Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$ 반응에 의해 모재 Al이 용출된다. 한편 산화 피막은 음극이 되어 $O_2 + 4e^- \rightarrow 2O^{2-}$ 반응에 의해 플럭스 중으로 용출되므로서 산화 피막이 제거된다.

알루미늄용 플럭스는 크게 부식성(염화물계)과 비부식성(불화물계)으로 나눌 수 있다. 염화물계는 NaCl, LiCl, KCl 등이 주성분이며, LiF, Na_3AlF_6 가 함유되어 있다²⁰⁾. 염화물계 플럭스의 용융 온도는

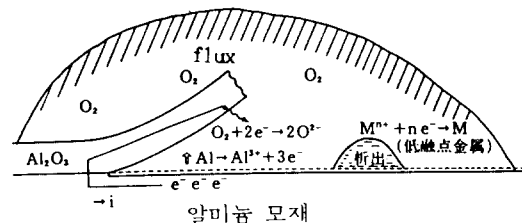


그림10. 산화피막의 파괴, 박리 개념도

표 12. 각종 브레이징법에 사용되는 플럭스의 종류

成分	A	B	C	D	E
成分	NaCl KCl LiCl ZnCl ₂ LiF	NaCl KCl LiCl AlF ₃	NaCl KCl LiCl SrCl ₂ Na ₃ AlF ₆ NF	KAIF ₄ K ₂ AlF ₆	KAIF ₄ K ₂ AlF ₆ (H ₂ O)
熔融温度 (°C)	490~600	480~560	550~570	565~570	563~571
溶媒 (濃度)	水, 알콜 (50~75wt%)	100wt%	水, 알콜 (5~15wt%)	水, 알콜 (3~15wt%)	水, 알콜 (3~15wt%)
活性度	大	小	中	小	小
브레이징법	토치법, 炉内法	침적법	乾燥空氣霧困氣法	비부식성flux법 토치법	비부식성flux법 토치법

보통 450-620°C의 온도 범위이며, 부식성이 있으므로 브레이징 후 반드시 물로 씻어 제거해야 한다. 비부식성 플럭스중 대표적인 것으로 캐나다의 AL-CAN사에서 개발한 NOCOLOCK 플럭스가 있으며, 주요성분은 KAIF₄, K₂AlF₆, 5H₂O, K₂AlF₆, AlF₃ 등이다. 이 플럭스는 알루미늄 표면의 산화 피막은 용융시켜 제거하지만 알루미늄과는 반응하지 않는다. 따라서 비부식이며, 브레이징후 플럭스 잔사도 물에 용해되지 않기 때문에 브레이징후 세정공정이 불필요하다. 비부식성 플럭스의 용융온도는 560-600°C 정도이다. 비부식성 플럭스는 염화물계 플럭스가 적용되는 알루미늄 합금에 대부분 적용 가능하지만, 로 브레이징에 있어서는 Mg 함량이 0.2%이하, 토치 브레이징에 있어서는 Mg 함량이 1.5% 이하인 것이 적당하다. 비부식성 플럭스는 보통 N₂ 가스 분위기하에서 사용하거나, 산소농도 1000ppm 이하(露点 -35°C 이하)의 로 내에서 사용한다.

비부식성 플럭스를 사용한 브레이징법은 일본에서는 자동차용 열교환기 제조에 많이 사용하고 있는데¹⁰⁾, 최근에는 저융점 비부식성의 플럭스 개발과 성능이 안정되고 관리가 용이한 물화물계 혼합 플럭스의 개발도 진행되고 있다^{10, 25)}.

표 12는 알루미늄의 브레이징에 사용되는 플럭스의 종류를 보인 것이다¹⁰⁾.

그림11은 표13의 플럭스를 사용하였을 때 플럭스 농도, 사용량과 접착율과의 관계를 나타낸 것이다²⁶⁾.

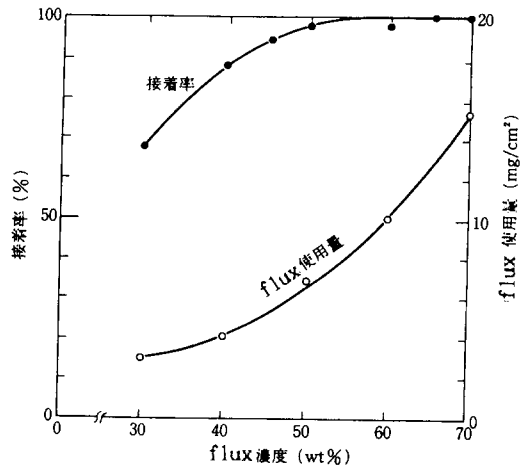


그림11. 플럭스 농도와 브레이징성과의 관계

표 13. 로 브레이징 플럭스의 일 예

成分	구 성
NaCl	20~30wt%
LiCl	15~30
KCl	30~55
ZnCl ₂	7~10
SrCl ₂	
LiF	8~10
KF	
Na ₃ AlF ₆	
熔融温度	491~602°C
溶解度	93.9
使用濃度	40~70wt%
溶媒	水, 알콜

5. 브레이징 방법

5.1 플럭스 사용 브레이징

5.1.1 토치 브레이징

토치 브레이징은, 연소불꽃을 사용하여 Al-Si계 납재와 플럭스로 모재를 접합하는 브레이징 방법이다. 이 방법은, 알루미늄이 비열이 크고, 열전도가 높으며, 납재와 모재의 용점차이가 적은데다가 불꽃의 온도 관리가 어려워, 적용이 까다로운 편이다. 그러나 토치 브레이징은 국부 가열이 쉽고 설비비가 적다는 장점때문에 소물품이나 열교환기의 보수용으로 이용되고 있다.

토치 브레이징은 가스용접과 거의 같지만, 불꽃의 온도가 가스용접보다 낮다. 작업 방법은 전처리로 세척한 접합 예정부에 물이나 비인더에 녹인 플럭스를 도포하고, 토치로 가열한다. 가열에 의해, 먼저 물이나 바인더가 기화되고 500°C 정도에서 플럭스가 용융되기 시작하며, 그후 납재를 첨가하여 브레이징을 완료한다.

토치 브레이징에 사용되는 플럭스는 표12의 A와 같이 NaCl 등을 주성분으로 하고, 여기에 ZnCl₂가 첨가된 것이다. 브레이징시 플럭스는 모재와 아래의 화학반응에 의해 모재 표면에 Zn을 석출시켜 납재의 용융을 촉진한다.

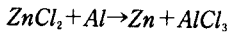


표12에 보인 D,E와 같은 불화물계 플럭스도 토치 브레이징에 사용할 수 있는데, 이 플럭스는 후세척과 이에 의한 폐액처리가 필요없다는 장점은 있으나, 염화물계에 비해 더 높은 숙련도가 요구된다.

토치 브레이징을 처음으로 반자동화한 것으로 주전자나 포트등의 브레이징이 있으며, 최근에는 염화물 및 불화물 플럭스를 사용한 로봇 자동 토치브레이징 기계도 일본에서 실용화 되고 있다.

알루미늄의 토치 브레이징시 유의할 점은, (1) 작은 부품에는 직접 불꽃을 대지 않으며, (2) 두께가 다른 부품은 두꺼운 부품만 가열하고, (3) 큰 부품에 작은 부품이 붙어있는 경우에는 큰 부품을 가열하여 작은 부품을 가열하지 않는다. 브레이징후 냉각 속도가 지나치게 느리면 알루미늄이 소둔되어 강도가 저하하므로 수냉하여 급냉시키는 것이 좋다. 토치

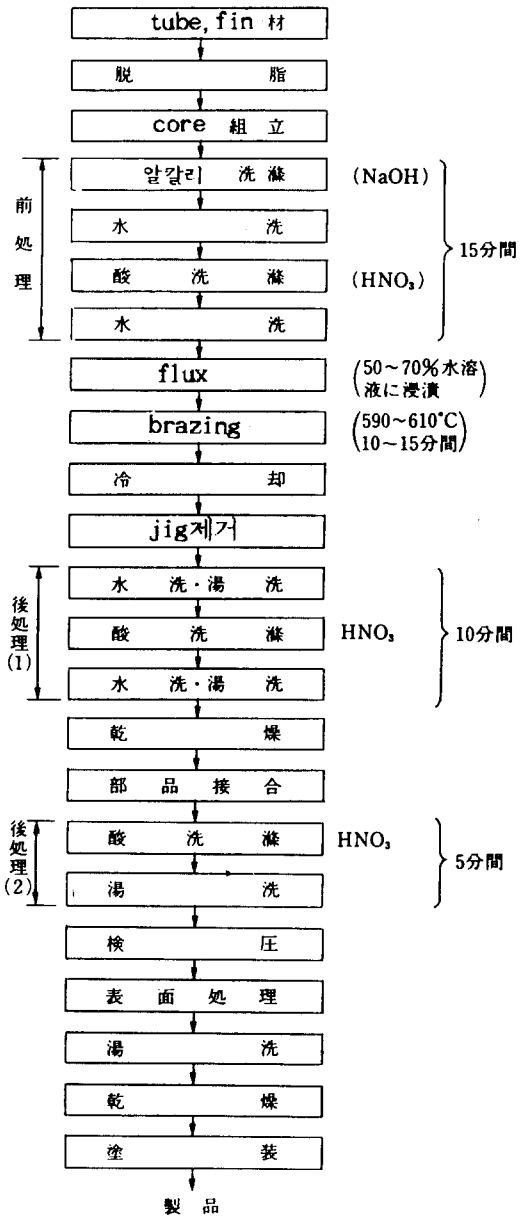


그림12. 플럭스 사용 로 브레이징시 알루미늄 라디에이터 제조공정

브레이징은 열교환기에 사용되는 파이프, 파이프 및 니플류 등의 브레이징에 적용되는 예가 많다.

5.1.2 爐 브레이징

로 브레이징은 토치 브레이징이나 침적 브레이

징에 비해 대량 생산이 가능한 장점이 있다. 로의 형태로는 패치식과 연속식이 있다. 로를 사용하여 알루미늄을 브레이징할 때, 모재와 납재의 용점 차이가 적기 때문에 정확한 온도 조절이 필요한데 브레이징 온도에서 $\pm 5^\circ\text{C}$ 이내의 균일한 로내 온도 분포가 필요하다. 로의 가열 방법은 전기와 가스가 있다. 전기로 가열하는 방법에서는 니크롬선 등을 발열선으로 사용할 수 있으며, 이 경우에 발열선이 플럭스 증기에 직접 닿지 않게 머플 등으로 차단시킨다. 가스로 가열하는 방법중 로의 벽면 전체가 가열되는 赤熱爐²⁷⁾는 부탄가스와 공기를 혼합시켜 사용한다. 이방법은 복사열에 의해 부품이 가열되기 때문에 로내의 온도 분포가 균일하여 로내에 열교 반을 위한 fan이 불필요하다. 그림12는 플럭스를 사용하는 로 브레이징에서 라디에이터 제조공정의 일례를 보인 것이다²⁸⁾.

로 브레이징시 접합조건은, 피접합물을 접합온도 $590\text{--}615^\circ\text{C}$ 정도에서 수 분간 유지함으로써 접합이 이루어진다.

로 브레이징에 사용하는 플럭스는 표12의 A가 대표적이는데, 활성도가 매우 높고 다량 사용하기 때문에 브레이징후 제품의 표면 상태가 그다지 좋지 않다. 또, 부식성이 강한 플럭스에 의해 로 내벽의 손상이 심하므로 로 내벽을 내화물로 만든 것이 보급되고 있다.

로 브레이징 전후의 세척액으로는, 사전 세척액의 경우 Na_2CO_3 용액, $\text{NaOH-Na}_2\text{SiO}_3$ 등이 있고, 사후 플럭스 제거용 세척액으로는 HNO_3 , $\text{HNO}_3\text{-HF}$ 등이 있다²⁹⁾.

로 브레이징은 자동차용 콘텐서, 열교환기의 제조에 사용되고 있으나, 플럭스의 다량 사용으로 여러가지 문제가 많기 때문에, 일본에서는 점차 비부식성 플럭스 사용 브레이징법으로 대체되고 있다.

5.1.3 건조 공기 분위기 브레이징

로 브레이징은 통상 대기중에서 행하나, ALCOA 사에서는 건조 공기중에서 브레이징하는 방법을 개발하였다. 이 방법은 건조공기 분위기 중에 수분의 함량을 적게 함으로써, 알루미늄이 수분과 반응하여 산화피막이 생성되는 것을 억제한다. 따라서, 이 방법을 사용하면 플럭스의 사용량을 대기중의 브레이징 방법에 비해 1/5 정도로 줄일 수 있다³⁰⁾. 즉, 그림13에서 보듯이 로내의 露点 -40°C 정도로 유지하면 5wt% 정도의 플럭스 수용액으로 브레이

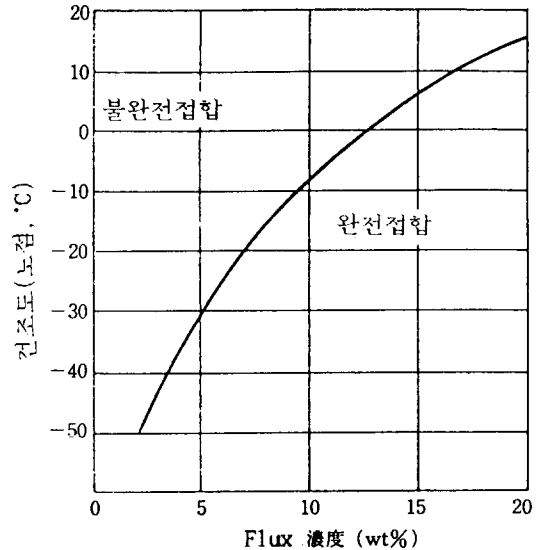


그림13. 플럭스농도와 로내 건조도(노점)가 브레이징성에 미치는 영향

징이 가능하다³⁰⁾.

또, 표12의 플럭스 C를 사용하면, 露点 -40°C 이하의 경우 3wt% 농도의 플럭스 수용액으로 브레이징이 충분히 가능하다³⁰⁾. 표면적 약 6m^2 의 알루미늄 라디에이터를 브레이징할 때, 로 브레이징법은 600-700g의 플럭스가 필요하고, 건조공기 분위기 브레이징법은 50-100g의 플럭스가 필요하다³⁰⁾. 건조공기 분위기는 사용플럭스가 적기때문에 후처리시 플럭스세척 시간도 로 브레이징법에 비해 약 1/4로 줄어들며, 브레이징 제품의 표면이 미려하고 로 치구의 수명이 2-3배 길어지는 장점이 있다.

5.1.3 침적 브레이징^{16, 31)}

침적 브레이징(dip brazing)은 일본의 경우 1960년대에 실용화되어 각종 알루미늄 열교환기의 브레이징에 이용되어 왔다. 이 방법은 용융된 플럭스 중에 피접합재를 침적시켜 브레이징하는 방법이다. 플럭스가 하는 역할은, (1)피접합물을 브레이징 온도까지 가열, (2)피접합물(모재) 및 납재의 산화피막의 제거와 더 이상의 산화 방지, (3)용융 플럭스의 발열 대류에 의해 로내 온도의 균일한 유지, (4)납재의 모재에 대한 wetting성 개선 등이 있다. 플럭스의 특성은 표12의 B에 보인 바와 같다.

침적 브레이징시 대형 구조물을 접합할 경우, 상시간 가열한 경우가 많은데 이때에는 납재중 Si의

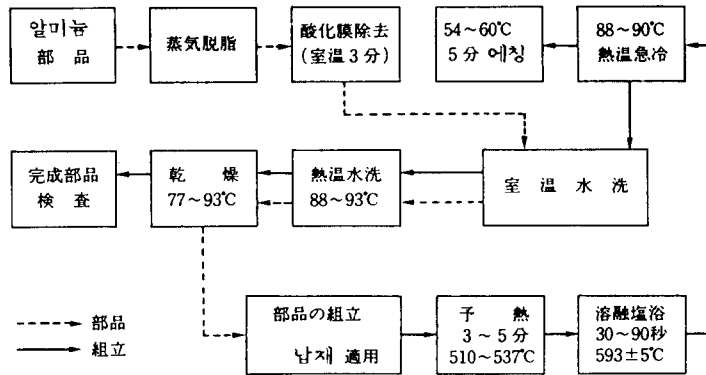


그림 14. 알루미늄의 침적 브레이징 공정

모재내로의 과도한 확산에 유의해야 한다. 과도한 Si의 확산은 접합부의 강도를 약화시킨다. 접합부의 간격은 0.05-0.1mm 정도로 한다.

침적 브레이징 설비로는 예열로, 염욕로, 제품을 들어올려 침적시키는 기중기가 필요하다. 염욕로는 소형일 경우 외부에서 가열이 가능하나, 공업용로는 용융된 플럭스에 직접 통전시켜 플럭스의 저항 발열을 이용하여 가열한다.

침적 브레이징의 장점은 다음과 같다.

- (1) 용융된 플럭스가 피접합물에 직접 열을 전달하므로 균일한 가열이 가능하고, 대형 구조물도 단시간에 가열이 가능하다.
- (2) 플럭스의 유동성이 좋아 제품 전체에 골고루 침투하므로, 복잡한 물품도 모든 부위가 양호하게 가열, 접합되어 안정된 품질을 얻을 수 있다.
- (3) 플럭스 중에 피접합체가 완전히 침적되어 외부공기와 차단되므로, 플럭스에서 발생하는 부식성 가스의 영향을 받지 않는다.
- (4) 플럭스의 흐름성이 좋아 산화피막을 완전히 파괴할 수 있어, 다른 브레이징법에 비해 접합 품질이 우수하다.

침적 브레이징의 단점으로는,

- (1) 연속로에 비해 양산성이 적다.
- (2) 플럭스의 소모가 많고, 유지 전력이 많이 든다.
- (3) 제품의 후처리와 폐액처리에 시간과 경비가 필요하다.
- (4) 로의 관리가 까다롭다.

침적 브레이징법은 대형 열교환기나 접합부의

엄격히 요구되는 항공기용 전자기기의 샤시, 導波管 등에 이용되고 있다. 일본에서 이를 적용한 예로는, 住友精密의 신간선 변압기의 쿨러, 콘덴사 등이 있다. 그러나, 침적 브레이징법은 위와 같은 단점 때문에, 최근 일본에서는 대형로의 경우 진공 브레이징법으로 변경되고 있다. 따라서, 최근에는 導波管이나 방열핀 등 특수 부품의 브레이징에 이용되고 있다. 그림14는 알루미늄 침적 브레이징 공정의 한 예를 보인 것이다³⁰⁾.

謝辭

본, 해설은 大阪大學 熔接工學研究所의 協助에 의해 作成되었으며, 協助를 아끼지 않으신 松田 福久 教授님께 感謝 드립니다.

참 고 문 헌

1. 川勝：金屬,6(1986), No.5
2. 難波：住友輕金屬技報,26(1985), No.3,147
3. 福井：住友輕金屬技報,21(1980), No.1,76
4. 難波：輕金屬溶接,31(1993), No.7,318
5. 細見：住友輕金屬技報,32(1991), No.1,1
6. 稻林：輕金屬溶接,31(1993), No.7,335
7. 細見：住友輕金屬工業(株),(1990),21,24,30,31
8. 中西 외：住友輕金屬技報,29(1988), No.3,218
9. 輕金屬溶接,31(1993), No.8,380
10. 竹本：輕金屬,41(1991), No.10,639
11. 川瀬：輕金屬溶接,31(1993), No.3,116

12. 三井 외 : 輕金屬, 43(1993), No.3, 171
13. 竹内 : 輕金屬溶接, 25(1987), No.1, 22
14. 竹内 : 輕金屬溶接, 28(1990), No.3, 105
15. 川瀬 : 輕金屬溶接, 26(1988), No.10, 479
16. 川瀬 : 輕金屬溶接, 28(1990), No.4, 153
17. 水野 외 : 알루미늄とその合金의溶接, (1979), 産報出版, 16
18. 川瀬 : 輕金屬溶接, 23(1985), No.9, 392
19. 今泉 : 輕金屬, 29(1979), No.3, 115
20. 低溫接合委員會 : 輕金屬溶接, 19(1981), No.8, 343
21. J.T.Reding et al. : Material Protection, 5(1966), 15
22. 田部 외 : 住友輕金屬技報, 27(1986), No.1, 1
23. 低溫接合委員會 : 輕金屬溶接, 27(1989), No.9, 40
24. ろう接便編集委員會編 : ろう接便覽, 産報, (1967), 190, 316, 575
25. 川瀬 외 : 輕金屬溶接, 28(1990), No.5, 193
26. 川瀬 : 輕金屬溶接, 13(1975), No.2, 65
27. 大同特殊鋼 : 輕金屬溶接構造研究委員會資料, (1976)
28. 日本眞空技術 : 眞空ろう付爐カタログ
29. J.R.Terrill : Metal Progress, (1969), No.12, 70
30. 川瀬 : 輕金屬溶接, 13(1975), No.2, 17
31. 岩崎 외 : 輕金屬溶接, 23(1985), No.12, 551
32. 川勝 : 輕金屬溶接, 23(1985), No.7, 300