

급냉법에 의한 Brazing용 접합재료 연구개발 동향



박 원 옥

(KIMM 재료공정연구부)

- '78 서울대학교 금속공학과(학사)
- '81 서울대학교 금속공학과(석사)
- '85 서울대학교 금속공학과(박사)
- '89-'90 The University of Sheffield 연구원
- '85-현재 한국기계연구원 책임연구원



최 철 진

(KIMM 재료공정연구부)

- '84 서울대학교 금속공학과(학사)
- '86 한국과학기술원 재료공학과(석사)
- '86-현재 한국기계연구원 선임연구원

1. 서 론

기술의 혁신과 신뢰성이 요구되는 첨단기술의 발달과 함께 brazing기술은 항공우주, 원자력, 전자기기 등은 물론 정밀가공, 의료기기, 가전제품 등 다양한 산업에서 활용되고 있는 기술이다. 이와같이 brazing에 의한 접합기술이 주목, 활용되는 요인으로는 다음과 같은 특징이 있기 때문이다.

1. 모재를 녹이지 않고 접합이 가능하다.
2. 이종재료간의 접합이 용이하다.
3. 박판, 복잡한 구조부의 접합이 가능하다.
4. 접합부가 전도성이 있고 치밀하다.
5. 작업의 자동화, 합리화가 도모된다.

이와 같은 장점을 가지는 brazing접합기술은 각 모재에 따라 다양한 종류의 접합금속(Filler Metal : FM)이 요구되기 때문에 최근 신소재의 개발과 동시에 신소재의 brazing에 필요한 새로운 FM의 개발에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다.

Brazing은 용점이 450℃이상인 분말 또는 박막 합금을 filler metal로 사용하여 비산화성 분위기 하에서 일정한 온도로 가열함으로써 금속 또는 비금속재료를 접합하는 기술이다. 이러한 brazing에 쓰이는 재료는 flux와 binder를 섞은 분말형태가 주를 이루고 있으나, 고정밀기기 또는 joint부에 고성능이 요구되는 경우에는 brazing용 박대(Brazing Ribbon)가 주로 사용되어 왔다. 지금까지 사용되고 있는 기존재료는 brazing온도가 1000℃

부근인 Au계 (BAu-4 등)와 700~800℃정도인 Ag계 (BAg-1, BAg-4, BCuP-5 등)의 두가지로 분류할 수 있다. 그러나, 이들 재료는 원재료값이 고가일 뿐만 아니라 제조공정도 여러번의 압연을 거쳐야 하므로 복잡한 단점이 있다. 그러므로, 외국의 경우에는 이들 재료를 대체하기 위한 연구가 수행되어 왔으며, 최근에는 미국의 Allied Signal사에서 급냉용고법의 일종인 Planar Flow Casting (PFC)법을 이용하여 Au계 brazing박대를 Ni-B계 비정질박대로, Ag계 박대를 Cu-P계 비정질박대로 대체하여 Metglas라는 상품명으로 대량 생산하고 있다.

급냉용고법에 의해 제조된 비정질 또는 미세결정립 구조의 FM은 용탕에서부터 바로 광폭의 박대가 PFC(planar flow casting)법에 의해 제조되기 때문에 압연과정이 생략되며, 급냉에 의해 응집강화 원소들을 과잉으로 고용시킬 수 있어서 유독성이 있는 Cd에 의한 오염을 방지할 수 있는 동시에 저가의 재료를 사용할 수 있게 되었다.

그러나, brazing공정의 단축과 아울러 우수한 특성의 급냉용고 FM이 외국에서는 이미 제조되고 있음에도 불구하고 기술 및 기반자료가 없는 국내에는 FM의 제조시 급냉용고 과정에서의 각종 조건이 아직 확립되지 않았으며 또한 광폭의 비정질 FM을 이용한 brazing에 관한 자료는 거의 전무한 상태이다.

따라서, 본고에서는 기존의 분말, wire 및 박대 형태의 brazing접합재료를 대체할 수 있는 새로운 접합재료 및 접합기술의 동향을 분석 기술함으로써, 신소재 활용범위 확대 및 생산공정에서 응용을 위한 접합기술 기반확립의 새로운 방향을 제시하고자 하였다.

2. Brazing의 일반적 특성

Brazing된 접합부의 기계적 성질은 접합된 모재 (Base Metal : BM)와는 다른 특성을 갖기 때문에 각종 특성 시험방법의 선택과 결과를 해석함

에 있어 다음과 같은 조건들이 사전에 고려되어야만 한다.

가. 재질적 불연속성 - joint부는 모재와 다른 이종재질의 얇은 층으로 형성되어 있기 때문에 탄성계수, 항복응력, 열팽창계수 등의 기계적, 열적 불연속성을 가지며 역학적으로 특이한 양상을 나타낸다.

나. 형상적 불연속성 - 단순한 butt joint의 외의 많은 brazing에서 형상의 불연속성이 있는 접합의 경우 어떤 하중하에서 나타나는 응력의 분포는 복잡하여 강도의 해석 또한 어렵게 된다.

다. 접합부의 국소성 - 접합부의 두께가 수백 μm 이하이기 때문에 재질적 불연속성과 형상적 불연속성이 극히 좁은 부위에 집중되어 특이한 성질을 나타낸다.

이와 같이 brazing joint부는 특이한 면을 가지고 있기 때문에 각종 기계적 특성 시험에 있어서 시험방법에 따라 상당히 다른 결과가 나타나는 경우가 종종 있다. 따라서 각 시험방법에 따른 결과를 해석해 내고 그 의미를 파악하는 것이 대단히 중요하다.

일반적인 brazing에서 joint두께가 얇을 때, 박판형태의 FM을 이용하여 brazing한 joint부의 인장강도는 실제 삽입한 FM의 인장강도 보다 더 큰 강도를 나타낸다. 이러한 현상은 joint부에 소성구속(plastic constraint)이 일어나기 때문이며, 모재의 항복응력보다 높은 응력이 걸린 상태에서만 소재의 변형이 일어나게 된다. 따라서 FM층의 두께가 감소함에 따라 이와 같은 구속효과는 더욱 커지게 되어 소성변형에 필요한 응력은 비례하여 커지게 된다.

한편, 이들 연성 FM이 모재와 반응하여 석출물을 형성하거나 제 2상을 만들 때는 다른 기구에 의해 인장강도값이 정해지나 FM이 모재와 별다른 반응이나 석출현상이 없이 joint부에 남아 있게 된다면 충격값은 증가하다가 peak를 이룬 후 다시 충격값은 떨어지게 된다. 이는 그림 1과 같이 모재가 FM에 비해 brittle하고 FM의 연성이

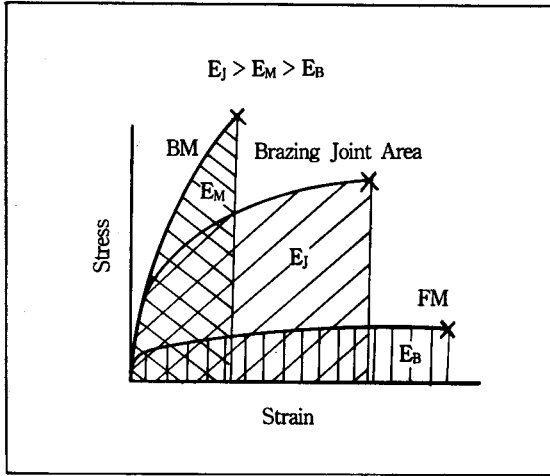


그림 1. 접합재와 모재의 응력-변형곡선과 접합부 인성과의 상관관계

큰 재료일 때 나타나는 현상이다. 충격값은 파단에 필요한 변형 에너지로서 응력변형 곡선에서 곡선과 변형축이 이루는 면적이며 인성의 척도이다. 그러므로, 이 경우 모재의 곡선은 응력이 크나 변형량이 적어 전체면적이 좁고 FM의 곡선은 변형량은 크나 응력이 작아 인성이 나쁘다. 높은 충격값을 얻기 위해서는 높은 강도와 큰 변형이 동시에 만족되어야 하는데, 강도는 소성구속 현상으로 인해 FM층이 얇을수록 커지고, 변형은 연성이 큰 FM층이 두꺼울수록 커진다. 따라서 최대 충격값을 나타내는 FM층의 임계두께가 존재하게 된다.

그 외에도 brazing joint부의 강도는 모재의 강도와 실제 brazing작업시에 결정되는 joint area와 joint clearance의 변화에 영향을 받게 되는데 이들 변화에 따른 강도의 변화를 그림 2에 나타내었다. 일반적으로 joint clearance가 작아지면 강도가 증가하나 joint clearance가 극히 작을 때는 오히려 강도가 급격히 감소하는 경향이 있다. 이는 joint clearance가 너무 작을 때에는 FM이 채워지지 않거나 부분적으로 void를 만들기 때문이다. 모재의 강도 증가에 따른 joint부 강도 증가는 앞서 설명한 소성구속현상에 기인한 것이며, joint area증가에 따른 강도의 감소현상은 FM의 유동

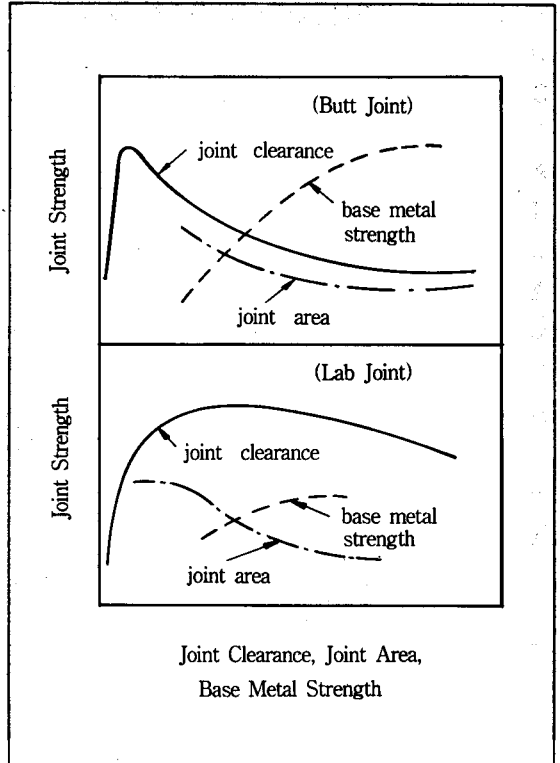


그림 2. 접합부의 강도에 관한 여러 접합공정인자의 영향

성과의 관계에서 액상FM의 유동성이 부족하여 좁고 커다란 면적을 충분히 채우기가 곤란하기 때문에 FM이 채워지지 않은 상태에서 옹고한 joint부가 존재하기 때문이다.

3. 급냉응고법에 의한 접합용 광폭박대제조

급냉응고법의 일종인 Planar Flow Casting (PFC)법은 광폭리본을 용융금속으로 부터 직접 제조하는 기술로서, crucible tip의 orifice를 긴 직사각형의 slot형으로 가공한 후 회전하는 Cu substrate와 tip이 거의 밀착한 상태에서 용융금속을 분사하는 방법이며, 이 경우 제조되는 리본의 폭은 slot길리와 거의 같은 상태로 유지된다.

이 방법은 crucible tip과 wheel의 gap이 상당히

큰 상태에서 구형의 orifice를 통하여 용융금속을 분산시켜 약 3~4mm 폭의 리본을 제조하는 Chill Block Melt Spinning (CBMS)법을 개조한 것으로서, 실험실에서는 합금의 용해시 wheel과 crucible의 gap을 크게 유지시켰다가 용융금속의 분산시에만 gap을 줄이도록 고안하여 사용하고 있다. 그림 3은 CBMS법과 PFC법의 원리도를 나타낸 것으로 melt puddle이 CBMS법에서는 wheel 표면 위에서 분사량과 wheel speed에 의해 주로 조절되지만 PFC법에서는 crucible tip과 wheel 사이의 gap에 의해 지지된다.

따라서, 응고리본의 윗 표면은 CBMS의 경우 free surface이지만 PFC법에서는 tip의 표면에 의해 리본 윗 표면의 상태가 결정된다. 이에 비해 실제 작업에서는 crucible에서 직접 용해 및 분사

가 이루어지지 않고 tundish를 사용하여 용융된 금속을 부어 연속식으로 제조되며 이때 tundish 내부의 압력은 용융금속의 비중을 고려하여 분사 압력이 일정하도록 조절된다.

4. 급냉응고 접합재료의 특징

급냉응고법으로 제조된 brazing 접합박대는 여러번의 압연공정에 의해 제조되는 기존재료보다 제조공정이 간편할 뿐 아니라, melt spinner에서 wheel의 회전수와 melt의 분사량 등을 조절함으로써 박막의 두께를 20 μm~100 μm 범위에서 자유롭게 변화시킬 수 있으며, 비정질자체의 내식·내산성으로 인하여 flux를 쓰지 않고 직접 torch 또는 furnace brazing할 수 있는 특징이 있다.

일반적으로 많이 사용되는 brazing용 분말의 경우에 있어서는 filler metal에 binder와 cement를 혼합하여 모재의 clearance외부에 바른 후 가열하여 모재를 접합시킨다. 그러나 이 경우에는 모세관현상과 확산에 의해 brazing이 진행되는 도중 binder와 cement 등이 증발되면서 접합부에 void 또는 shrinkage등을 남기게 되므로 접합부의 특성이 떨어지는 단점이 발생한다. 이에 비해 비정질 박대를 이용할 경우에는 접합하고자 하는 모재의 단면형상대로 박막을 punching하거나 절단하여 두 모재사이에 넣어 일정한 압력을 가한 상태에서 작업하므로 균일접합이 가능하고 복잡한 형상의 고정밀기기의 brazing이 가능한 장점이 있다.

5. 급냉응고 접합재료의 종류

5.1 고온용 Ni계 접합재료

Brazing은 접합재료의 액상선보다 약 50~100℃ 높은 온도에서 작업이 시행되는데, 일반적으로 1000℃ 부근에서 또는 그 이상의 온도에서 접합할 때 쓰이는 재료를 고온용 접합재료로 분류하며, 이에 속하는 합금계는 Ni-B계, Ni-Pd계 및

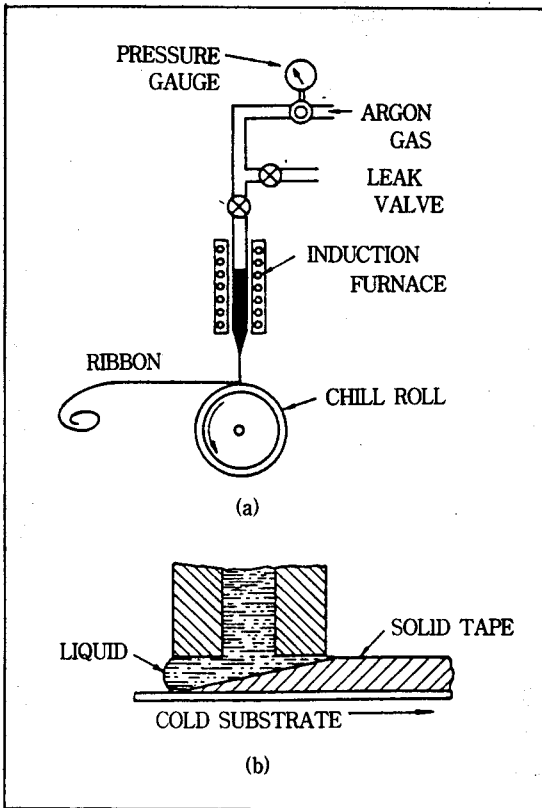


그림 3. 급냉응고장치의 원리를 나타낸 개략도
(a) CBMS법 (b) PFC법

표 1. Ni계 Brazing filler metal의 화학조성

Designation		Elements, Wt (%)						
Brazing Foils	AWS	Ni	Cr	Si	B	Fe	C	Au
Au - Ni	BAu-4	Balance	-	-	-	-	-	81.5-82.5
MBF-10(b)	BNI-1a	Balance	13.0-15.0	4.0-5.0	2.75-3.50	4.0-5.0	0.06	-
MBF-15(b)	-	Balance	12.0-14.0	4.0-5.0	2.5-3.2	3.5-5.0	0.03	-
MBF-20(b)	BNI-2	Balance	6.0-8.0	4.0-5.0	2.75-3.50	2.5-3.5	0.06	-
MBF-30(b)	BNI-3	Balance	-	4.0-5.0	2.75-3.50	0.5	0.06	-
MBF-80(b)	-	Balance	14.5-16.0	-	3.17-4.2	-	-	-

(a) According to AWS Specification A 5.8

(b) Foils produced by the Metglas Products Department, Allied Corporation, Parsippany.

Ni-P계 등이 있다. 이러한 금냉용고재료 중 Ni-B계는 대부분 기존의 Au-Ni계 합금을 대체하여 현재 항공기 엔진 및 자동차용 금속담체의 brazing에 많이 쓰이고 있으나, Ni-Pd계는 원자력 등 일부 분야에서 높은 내식성이 인정받고 있으며, 또한 Ni-P계 접합재료는 사용량이 아직 미미한 상태이다. 따라서 본고에서는 그 사용범위와 시장점유율이 높은 Ni-B계 접합재료를 중심으로 연구개발 현황을 분석하기로 한다.

Ni-B계 brazing용 박대는 항공기용 turbine blade, compressor stator, 자동차용 금속담체 및 열교환기, 공구 및 구조재의 접합에 주로 사용되며, 진공 brazing을 한 후의 그 우수한 특성으로 인하여 점차 사용범위가 확대되고 있는 추세이다.

현재 Ni-B계 접합박대는 미국의 Allied Signal Inc.에서 Metglas라는 상품명 of MBF Series로 실용화하여 시장을 독점하고 있는 상태로서, 접합재료 종류별 화학조성은 표 1과 같다.

Brazing공정에 있어서는 용도에 따라 항공기용 부품은 진공분위기의 brazing furnace에서 접합작업이 이루어지며, 자동차 및 산업용에 있어서는 수소 및 질소분위기 또는 torch가열에 의한 접합도 가능한 것으로 알려져 있다. 표 2는 AISI 410

stainless steel을 접합할 때의 각 접합재료의 종류별 용점과 접합온도를 나타낸 것이며, 표 3은 접합한 후의 joint부의 lab shear test 결과를 종합 정리한 것이다.

표 2. Brazing filler metal 의 brazing 온도

Brazing foil	Approximate liquidus °C (°F)	Brazing temperature °C (°F)
BAu - 4	949 (1740)	995 (1825)
MBF - 10	1075 (1970)	1175 (2150)
MBF - 15	1125 (2060)	1175 (2150)
MBF - 20	1000 (1830)	1050 (1925)
MBF - 30	1040 (1900)	1050 (1975)
MBF - 80	1065 (1950)	1094 (2000)

이외의 여러 접합특성 분석 결과, Ni계 비정질 foil은 기존 고가의 Au-Ni foil의 대체가능성이 충분히 입증되었으며 실제로 미국 Pratt & Whitney 사에서는 1977년 이후 JT8D engine용 compressor 부품을 brazing하는 공정에 Ni계 비정질 foil을 이용하여 기존 Au-Ni foil에 비해 우수한 내산화성 및 강도, cost 절감 등의 많은 효과를 얻고 있다.

표 3. 각종 filler metal의 joint 부에서의 기계적 성질

Brazing foils	Shear strength MPa (psi)	Tensile strength MPa (psi)	Comments
BAu - 4	126 (18,320)	505 (73,282)	Failed in base metal
MBF - 10	114 (16,560)	457 (66,240)	Failed in base metal
MBF - 15	122 (17,760)	490 (71,040)	Failed in base metal
MBF - 20	108 (15,654)	432 (62,613)	Failed in joint
MBF - 30	116 (16,773)	463 (67,093)	Failed in base metal
MBF - 80	117 (16,960)	468 (67,840)	Failed in base metal

5.2 저온용 Cu계 접합재료

저온 brazing은 BCuP series와 BAg series의 FM이 기존에 사용되고 있었으나 비정질 FM MBF 200X series가 개발되어 기존 FM의 대체품으로 좋은 평가를 받게 되었다. MBF 200X series FM은 Cu에 Sn, Ni, P등을 첨가하여 비정질화가 용이한 공정조성의 상태에서 수 inch폭의 ribbon을 PFC법에 의해 제조한다.

이러한 FM은 저융점을 갖는 모재의 brazing용으로 사용되며 고강도, 내충격성과 우수한 전기적 특성을 갖는 joint부를 얻을 수 있다.

이들 저온 brazing에 관한 연구로서 A. Datta 등은 기존에 사용되던 FM과 비정질 FM을 비교하여 기계적 성질을 조사하였다. 표4에 나타낸 3종류의 FM은 용도가 비슷하지만 조성이 달라 액상선 온도가 다르기 때문에 각 FM의 액상선보다 100℃ 높은 온도에서 furnace brazing하였으며 분위기는 질소를 사용하였다. BCuP-5 FM을 이용

한 brazing joint부의 인장강도가 3가지의 FM중에서 최고값을 나타냈으며 MBF 2005 FM의 joint부는 다소 낮은 값을 나타냈다. 그러나 충격값은 MBF 2005 joint가 가장 높은값인 반면 BCuP-5 joint는 최저값을 나타냈으며, BAg-1 FM 그다지 우수한 특성을 보이지 않았다. 이와같은 기계적 성질로 보아 높은 인장강도와 최고의 충격값을 가지고 있는 MBF 2005 FM은 기존 BCuP-5나 BAg-1 FM을 대체할 수 있는 우수한 FM로 판단된다.

또한 A.Rabinkin은 동일한 FM을 사용한 brazing 제품을 as-brazed상태와 고온에서 장시간 사용했을 때 joint부위에서 나타나는 열화현상에 관하여 조사하였으며 결과는 표5와 같다. Torch brazing하여 as-brazed상태에서의 기계적성질과 N₂ 분위기에서 annealing한 후의 기계적 성질을 비교한 결과, MBF 2005 FM을 사용한 시편이 BCuP-5 FM을 사용한 것에 비하여 전기저항값은 약간 크고 충격값은 작았다. 그러나 450℃에서 1주일간의

표 4. Ag계 기존접합재료와 Cu-P계 비정질접합재료의 특성비교

FM	Composition	Solidus	Liquidus	Joint tensile strength (butt joint, MPa)	Joint impact strength. J
MBF2005	Cu _{bal} Sn ₁₀ Ni ₆ P ₇	585	647	158.5	14.9
BCuP-5	Cu _{bal} Ag ₁₅ P ₅	640	815	193	2.7
BAg-1	Ag _{bal} Cu ₁₅ Zn ₁₆ Cd ₂₄	605	620	145	9.5

표 5. MBF 2005와 BCuP-5의 열처리후의 접합부특성(450℃, 1주일 annealing)

FM	electrical resistance, nΩ/cm			joint impact energy, J		
	as brazed	annealed	change, %	as brazed	annealed	change, %
MBF2005	49.7	47.8	-3.8	51.4	31.6	-38.5
BCuP-5	45.4	41.2	-9.5	68.7	23.7	-65.4

annealing후 두 종류의 joint 부는 모두 저항과 충격값이 감소하였으나 이들 감소의 비율은 MBF 2005 FM을 사용한 시편에서 변화율이 더 작은 양상을 나타내었다. 이와같은 결과는 MBF 2005 FM이 BCuP-5 FM에 비해 brazing한 joint부위가 더욱 열적으로 안정한 형태를 형성한다는 것을 나타낸다.

저온용 Cu계 접합재료에는 상기의 Metglas 2005 외에 모재의 종류 및 용도에 따라 첨가된 Ni, Sn, P의 양이 다른 여러 합금이 개발되었거나 연구중에 있는데, 내식 및 산화성을 향상시키기 위해서는 일반적으로 Sn의 양을 감소시키고, 강도 증가를 위해서는 Ni를 6wt% 범위이내로 조정하여 최대 충격값을 얻도록 합금설계하게 되며, 전기전도도를 높이기 위해서 Ni의 양을 더 많이 넣고 Sn과 P의 양을 줄임으로써 비정질상태보다는 결정립구조의 미세조직을 갖도록 유도한다.

또한 철계 및 일부 비철계 구조물의 접합에는 Ni과 P를 없앤 Cu-Sn과 접합재료가 사용되는데 현재 Cu-20wt%Sn 합금이 실용화되어 있는 상태이다.

6. 결 론

급냉응고법에 의한 brazing용 filler metal은 기존의 방법으로는 취성이 강해 박판제조가 어려운 조성의 소재에 대한 대체와 분말형 filler metal처럼 brazing조업시의 용융수축과 binder과 flux에 의한 결함 등을 최소화할 수 있는 등과 같은 기술적 이점 뿐만아니라 용융금속으로부터 직접 박판을 제조함으로써 압연공정을 생략하여 제조공정의 절감을 가져올 수 있는 이점이 있다.

이에 대해 선진국에서는 이미 다양한 소재가 연구·개발되어 급냉응고법에 의한 Ni계와 Cu계 합금의 brazing박판 등이 생산·판매되고 있다. 그러나 국내에서는 연구개발 투자가 미흡하고 brazing용 분말 및 박막의 일부를 제외하고는 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이다.

따라서 국내 항공기, 자동차, 전자산업 등의 고도화 추세를 고려해 볼 때 요소기술의 하나인 brazing기술에 대한 지속적인 연구·개발이 필요하며, 특히 고부가가치의 brazing재료에 관한 수요는 확대일로에 있어, 이에 상응하는 연구와 재료개발이 절실한 시점에 와 있다.

참 고 문 헌

1. R.Mehrabian : International Metal Review, 27 (1982) 185
2. N.J. DeCristofaro and C.Henshel : Welding Journal, 57 (1978) 33
3. D.Bose, A.Datta and N.J.DeCristofaro : ibid, 60 (1981) 29
4. R.D. Eng, E.J.Ryan and J.R.Doyle : ibid, 56 (1977) 15
5. J.H.Vincent, J.G.Herbertson and H.A.Davies : Proceedings of the 4th International Conference on Rapidly Quenched Metals, Sendai, Japan, (1981) 77
6. Wilfried A.Heinemann : Proceedings of the 5th International Conference on Rapidly Quenched Metals, Würzburg, Germany, (1984) 27

7. S.J.Savage and F.H.Froes : Journal of Metals, 4 (1984) 20
8. S.Takayama and T.Oi : Journal of Applied Physics, 50 (1979) 4692
9. C.Narasimhan : U.S.Patent, No. 4, 331, 739 (1982)
10. A.Datta, A.Rabinkin and D.Bose : Welding Journal, 10 (1984) 14
11. H.Hillmann and H.R.Hilzinger : Proceedings of the 5th International Conference on Rapidly Quenched Metals, (1978) 22
12. W.Feduska : Welding Journal, 38 (1959) 122
13. A.W.Adamson : "Physical Chemistry of Surfaces", Third Edition, John Wiley and Sons (1976) 1
14. 雀部 謙 : 溶接技術, 5 (1989) 176
15. E.Lugsheider and W.Tillman : Welding Research Supplement, (1990) 416
16. A.A.Mcfayden and R.R.Kappor : Welding Research Supplement, (1990) 399
17. Masaaki Naka and Katsuhiko : 溶接學會論文集, 4 (1986) 321
18. A.Rabinkin : Welding Journal, (1988) 30