

特輯 : 첨단 산업분야에서 브레이징 기술 응용

열교환기의 브레이징 기술

안병용·정재필·竹本正

Brazing Technology for Heat Exchangers

B. Y. Ahn, J. P. Jung and T. Takemoto



안병용/서울시립대 인턴
연구원



정재필/서울시립대 재료
공학과



竹本正/일본 오사카대학
접합과학연구소

1. 머리말

열교환기(heat exchanger)는 발열부를 냉각시키거나 혹은 폐열을 회수하는데 사용되기도 한다. 폐열회수에 사용되는 열교환기는 일반적으로 열교환기의 전열관(傳熱管) 외부로 폐열이 지나가고 전열관 내부로는 공기 또는 물이 통과되어 폐열로부터 열을 빼앗아 이들의 온도를 상승시킨다. 이렇게 가열된 공기 또는 물은 다시 버너로 투입되어 연소용 공기로 사용되거나 온수 난방장치 혹은 뜨거운 물을 사용하는 현장등에 활용하여 그 만큼의 에너지 사용량을 줄이는데 기여한다. 열교환기에는 알루미늄계, 동계, 스테인레스강계 등 여러 가지가 있는데, 이들의 제조에는 브레이징 기술이 필수적이다. 따라서, 본 고에서는 이들 열교환기의 브레이징 기술에 관하여 보고하고자 한다.

2. 열교환기의 종류

열교환기의 종류는 분류방식에 따라 여러 종류가 있으나, 재료적인 측면에서 금속재료를 사용하는 금속재 열교환기와 세라믹 재료를 사용하는 세라믹 열교환기, 금속재와 세라믹재를 혼합하여 사용하는 혼합 열교환기가 있다. 금속재 열교환기에는 알루미늄계, 동계, 스테인레스강계 등이 있는데, 본고에서는 금속재 열교환기의 브레이징에 관하여 기술하고자 한다.

2.1 알루미늄계 열교환기

알루미늄의 브레이징 기술은 미국에서 기초 기술이 개발되었고, 공업적으로는 일본이 자동차 열교환기 분야에서 발전시켰는데, 염화물계 flux를 사용하는 브레이징법(FB)으로부터, 진공브레이징(VB), Nocolok 법(NB)에 이르기까지 공업적으로 완성시켜 왔다. 이와 동시에 강도, 내식성등을 향상시키기 위한 재료 개발도 추진하였다. 국내에서도 자동차 산업의 발달에 따라, NB법, VB법 등을 이용하여 알루미늄 열교환기를 대량으로 생산하고 있다. 그러나 VB법 및 NB법 등 대량생산에서도 개선하여야 할 과제가 아직 많은 상태이다.

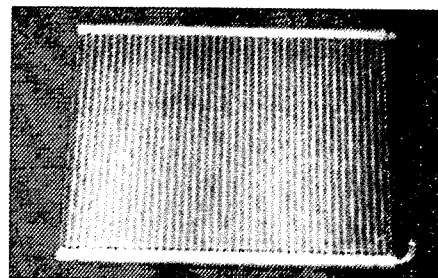


Photo 1. Nocolok 브레이징한 Al 라디에이터

알루미늄을 접합하는 방법으로는 용접법, 브레이징법, 또는 접착법등이 알려져 있다. 다른 금속과는 달리, 알루미늄은 표면에 생성된 산화피막이 매우 견고

해서 철, 동과 비교할때 접합이 용이하지 않다.

자동차용 열교환기에서 프레온과 oil등 매체가 비부식성의 경우는, 대개 알루미늄이 사용되고 있다. 반면, 물을 매체로 하는 열교환기의 알루미늄화는 느려, 주로 동이나 놋쇠가 사용되어 왔다. 그러나 최근 내식성 재료의 발달과 더불어 알루미늄의 사용이 증가되고 있다. 약 반세기만에 알루미늄제 열교환기가 많이 보급된 것은, 물론 자동차 생산량의 신장이 컸던 것에도 원인이 있었지만, 다음과 같은 이점²⁾이 있었기 때문이다.

- 재질, 치수, 형상이 복잡한 열교환기를 용이하게 접합할 수 있다.
 - 생산설비의 자동화가 진행되고, 작업의 숙련도가 필요하지 않다.
 - 저가격이고, 연속로에 의하여 다량의 열교환기를 생산할 수 있다.
 - 열처리형 알루미늄합금은 브레이징후의 용체화처리 및 시효경화에 의해 고강도를 얻을 수 있다.
 - 브레이징은 원자간의 금속결합이고, 단순한 이음매에도 모재와 동등한 강도를 유지한다.
 - 접합부의 응력분포가 양호하고, 피로강도가 높다.
- 사진 1은 Nocokol법으로 브레이징한 Al 라디에이터를 보인 것이다.

2.2 동계 열교환기

동 및 동합금은 전기 및 열전도도가 크고 내식성이 좋기 때문에 공업적으로 널리 사용되고 있다. 특히 도체재료와 라디에이터의 전열, 냉각을 위한 배관재료 및 각종 구조재료로서 많이 사용되고 있다. 동의 종류로는 순동과 합금동이 있고 순동에는 터프 피치동과 무산소동이 있다. 열교환기에 사용되는 순동은 C113~116, 122, 142, 143등이 있으며, 배관용으로는 C230, 280, 443~445등 Cu-Zn합금도 사용되고 있다.

가정용 가스보일러에는 기존의 동(Cu)열교환기 대신, 스테인레스강계 열교환기, STS-fin/Cu-tube형 열교환기도 사용되기 시작하고 있다. 사진2는 STS-fin에 Cu-tube를 브레이징 접합한 횡단면 사진이다.²⁾

2.3 스테인레스강계 열교환기

STS-fin형 열교환기는 Cu-fin형에 비해 열효율이 크게 떨어지지 않으면서, 내구성을 크게 개선한 것이 장점이다.

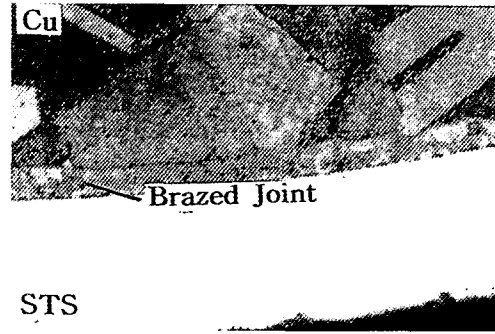


Photo 2. STS fin/Cu-tube 브레이징 접합부의 횡단면

스테인레스강계 plate fin형 열교환기는 순간온수기용, 인산형 연료전지, 각종 반응기, 증발기등 여러 용도로 제조되고 있다. Plate fin형 열교환기는 cell under tube형과 비교해서 소형이고 효율이 높아서, 매년 수요가 증가되고 있다. 판형 열교환기는 핀 성형의 정밀도, 납재의 형상과 양, 설치 방법 등에 의해 내압 강도가 영향을 받는다. 사진3은 소형 plate fin형 열교환기의 외관을 보인 것이다.

스테인레스강은 STS304, 316, 310S, 321, 347 및 이들의 저탄소재(304L, 316L등)가 사용된다. 브레이징 재료의 형상은 paste, 박판, 비정질박(foil)이 사용된다. 사용되는 비정질박으로는 MBF-50 (Ni-19Cr-7.5Si-1.3B) 또는 MBF-80 (Ni-13Cr-4B)등이 있다. 브레이징 분위기는 진공, 수소 또는 질소 가스를 사용한 감압 carrier가스 분위기를 사용한다.

Ni기 납재는 모재상에서 은납만큼 유동특성이 양호하지 않으며, 브레이징 결과는 접합부의 간격에 민감하다. 즉, 간격이 넓으면 납재가 충전되지 않는다. 또, 브레이징 조건이 부적절할 경우, 브레이징부에 미세균열이 발생하기도 한다.³⁾

Hastelloy X(Ni-21Cr-18Fe-9Mo-1Cr)를 모재로 사용하고 MBF50을 납재로 사용하여 진공중(진공도 10-3pascal이상)에서 열교환기를 브레이징할 경우, fillet부(1150℃, 5분간 유지시 형성)에는 공정조직이

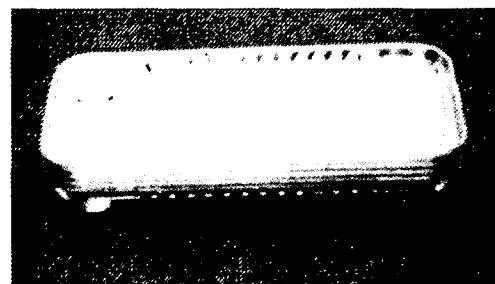


Photo 3. 스테인레스강계 판형 열교환기

거의 없고 Si, B가 모재쪽으로 확산되어 중간화합물을 형성한다. STS304와 Ni-Cr-B 납재와의 조합에서는 Cr-붕화물이 형성된다.⁴⁾ 금속간 화합물은 일반적으로 경하고 취약하기 때문에, 브레이징부의 조직이 모재에 비해 기계적 특성이 나쁠 것으로 생각되지만, 180° 굽힘시험이나, 인장강도, creep특성등이 모재와 거의 동등하다고 말할 수 있다. 또 납재가 모재표면을 잘 덮고 있다면, 내식성도 양호하고, 응력부식균열 감수성도 없다. 다만 납재에 덮힐 수 없었던 모재표면은 공식이 발생될 가능성이 있고, 사용환경에 따라서는 응력부식균열도 발생한다. 스테인레스강의 주요 구성성분 중 진공 브레이징시에 가장 증발하기 쉬운 것은 Cr이고⁵⁾, 열교환기의 경우 장시간 브레이징에 의해 표면의 Cr이 증발하여 내공식성이 열화되는 것으로 판단된다. 스테인레스강과의 조합에서 내식성이 좋은 Ni납재는 BNi-5이다.⁶⁾

스테인레스강제 열교환기를 제조할 때, 스테인레스강을 브레이징용 삽입재(filler metal)로써는 BAg, BNi, BCu, BAu등이 쓰이고 있는데, 그 중 BNi이 많이 사용되고 있으나 고가라는 문제점이 있어 저가인 순동(BCu)도 사용이 증대되고 있다.

3. 열교환기 브레이징

3.1 브레이징 방법

열교환기의 fin이나 tube, honeycomb구조를 접합할 때, 많은 경우 브레이징을 사용한다.⁷⁻⁹⁾ 부품의 크기와 형태에 따라 여러 종류의 브레이징 방법이 있는데, 다음에 그 대표적인 방법을 간략히 설명한다. 다만, 알루미늄 브레이징에 관한 상세한 내용은 필자들의 기 보고 내용^{8,10,11)}을 참고하기 바란다.

(1) 토치 브레이징

토치 브레이징은 연소불꽃을 사용하여 납재와 플럭스로 모재를 접합하는 브레이징방법이다. 토치 브레이징은 국부가열이 쉽고 설비비가 적다는 장점 때문에, 작은 물품이나 열교환기의 보수용으로 이용되는데 라디에이터의 tube, 코아 브레이징 및 좌판등의 브레이징시 자주 사용된다. 토치 브레이징은 가스용접과 거의 같지만, 불꽃의 온도가 가스용접보다 낮다. 작업 방법은 전처리로 세척한 접합 예정부에 물이나 바인더에 녹인 플럭스를 도포하고 토치로 가열한다. 가열에 의해 먼저 물이나 바인더가 기화되고 플럭스가 용융되기 시작하며, 그 후 납재를 침가하여 브레이징을 완료한다. 토치 브레이징시 주의해야 할 점¹²⁾은 다음과 같다.

- 작은 부품에는 직접 불꽃을 대지 않도록한다.
- 두께가 다를 경우 두꺼운 부품만 가열한다.
- 큰 부품에 작은 부품이 붙어있는 경우에는 큰 부품만 가열한다.

(2) 로 브레이징

로의 형태로는 패치식과 연속식이 있다. 로내는 대부분 비산화성 분위기인데, 진공 혹은 환원성가스(H₂, CO등)나 중성가스(N₂)를 사용한다. 알루미늄 열교환기의 브레이징에는 보통 진공분위기, N₂분위기를 사용하며, 스테인레스강은 진공이나 H₂분위기를 사용한다. 동계 열교환기는 N₂ 혹은 분해암모니아 가스분위기를 사용한다. 로를 사용하여 알루미늄을 브레이징을 할 때 모재와 납재의 융점차이가 적기 때문에 정확한 온도 조절이 필요한데 브레이징 온도에서 ±5°C 이내의 균일한 로내 온도분포가 필요하다. 또, 브레이징부 간격 과대, 브레이징 세척불량 등도 결함을 일으키기 쉬운 요인이므로 주의하여야 한다.¹³⁾

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 방법 중 로의 벽면 전체가 가열되는 적열로는 부탄가스와 공기를 혼합시켜 사용한다. 이 방법은 복사열에 의하여 부품이 가열되기 때문에 로내의 온도 분포가 균일하여 로내에 열교환을 위한 팬(fan)이 불필요하다. 로 브레이징은 라디에이터의 tube와 fin사이, 좌판과 탱크사이, 탱크와 side plate 사이의 브레이징에 사용한다.

(3) 침지 브레이징

침지 브레이징(dip brazing)은 용융된 플럭스 중에 피접합재를 침지시켜 브레이징하는 방법이다.

이 방법은 라디에이터의 tube, tube와 fin사이, tube와 좌판사이 등의 브레이징시 사용된다.

(4) 고주파 브레이징

열교환기의 다른 부분에 영향을 주지 않고, 단시간에 필요한 위치에만 필요한 열을 가하는데 유리한 방법이다. 고주파 브레이징은 라디에이터의 tube와 좌판사이, 좌판과 탱크사이, 탱크와 side plate사이 등의 브레이징시 사용한다.

3.2 납재

(1) 은계 납재에 의한 브레이징

은납은 Ag-Cu-Zn을 기본으로 하여, 융점, 젖음성,

기계적 성질등을 고려해서 만들어진다. 은납에는 Ag-Cu-Zn-Cd, Ag-Cu-Zn, Ag-Cu의 세가지 기본형에 Ni, Sn, Li을 첨가한 것이 규정되어 있다. 은납은 Al, Mg 및 그 합금을 제외하고는 어떤 금속이나 합금도 브레이징이 가능하다. 브레이징의 사용온도와 관련하여서는, 통상의 은납은 300℃에서의 장기 사용이 위험하다고 말할 수 있다.

한때 은가격이 높아짐에 따라 은납의 저은화가 검토되었다. 하지만 저은납에서 용점을 올리지 않기 위해서 Zn을 증가시키면 경하고 취성이 있는 β상이 나타나고, 고온에서의 기계적 특성이 떨어지며 내식성과 충격치도 저하한다. 여러 가지의 조합이 검토되었지만 우수한 저은납은 개발되지 않았다. 그림1에 표시한 것처럼 저은화에 대한 장점은 의외로 적고, 은가격이 낮은 현재 저은납과 인동납의 매력은 크지 않다.

은납 분말과 flux, binder, 희석제, 점도조절제등을 혼합한 paste가 시판되고 있는데, Ag-Cu, Ag-Cu-Ti은 fluxless, Ag-Cu-Zn-Cd등 Zn함유계는 flux를 혼합해서 만든다. Paste를 사용한 브레이징에서는 paste의 공급방법(dispenser), 브레이징될 제품의 형상등에 따라 적절한 분말(조성, 입도와 분포, 형상, 산화도)을 선정할 필요가 있다.

(2) 동계 납재에 의한 브레이징

동계 납재는 값이 싸기 때문에 민생용품, 동계 열교환기류 등 다방면의 브레이징에 사용되고 있다. 브레이징 공법은 torch, 고주파, 로내 및 MIG(Metal Inert Gas) 브레이징 등 다양하다. 대부분의 동계 납재는 은계 납재와 비교해서 용점이 높고 젖음성이 뒤떨어지기 때문에 생산성이 나빠진다. 그 때문에 가격

이 싼 납재를 사용해서도 제품의 total 제조 비용이 저하할지 어떨지에 대해서는 적절한 판단이 필요하다.

동계 납재는 분위기 가스중에서의 fluxless 브레이징이 가능하다. 다만 인동납재는 flux 사용 없이 대기중에서도 순동의 브레이징이 가능하다. 이 방법은 flux 제거공정이 불필요하고 물세척을 하지 않기 때문에 환경 친화적인 브레이징법이라고 할 수 있다.

① 동계 납재의 종류

동계 납재에는 동납(BCu), 황동납(BCuZn), 인동납(BCuP) 등이 있다.

동납에는 BCu-1, BCu-1a, BCu-2가 있다.¹⁴⁾ BCu-1은 순동으로, 형상에는 strip형, 봉형, 선형, 도금형 등이 있다. 이 납재는 용점(1083℃) 직상의 온도 1095℃에서도 유동성이 있으며, 보통은 H2 또는 분해 암모니아 가스분위기, 진공등 fluxless법에서 사용한다. Cr, Ti, Al등 산화가 쉬운 원소를 포함한 모재에서는 산소농도와 이슬점(수분)이 낮은 양호한 분위기 및 flux의 병용이 필요하다. BCu-1a는 BCu-1의 분말상으로, 유기 binder와 혼합하기도 하고, paste화 해서 사용하기도 한다. BCu-2는 유기물과 산화동의 혼합물로서, 알루미늄과의 접합에 이용된다.

황동납재(BCuZn)는 저탄소강과 저합금강의 브레이징에 사용된다. 대개는 토치 브레이징되지만 고주파 및 로내 브레이징도 행하여진다. flux로는 모두 붕사-붕산계를 사용한다. 그 외 스테인레스강과 동, 동합금에도 적용된다.

인동납재(BCuP)는 원래 동과 동합금용이지만, 은, 텅스텐, 몰리브덴에도 사용된다. 인동납은 철계, Ni계 및 10%Ni이상의 Ni을 함유한 합금에서는 원칙적으로

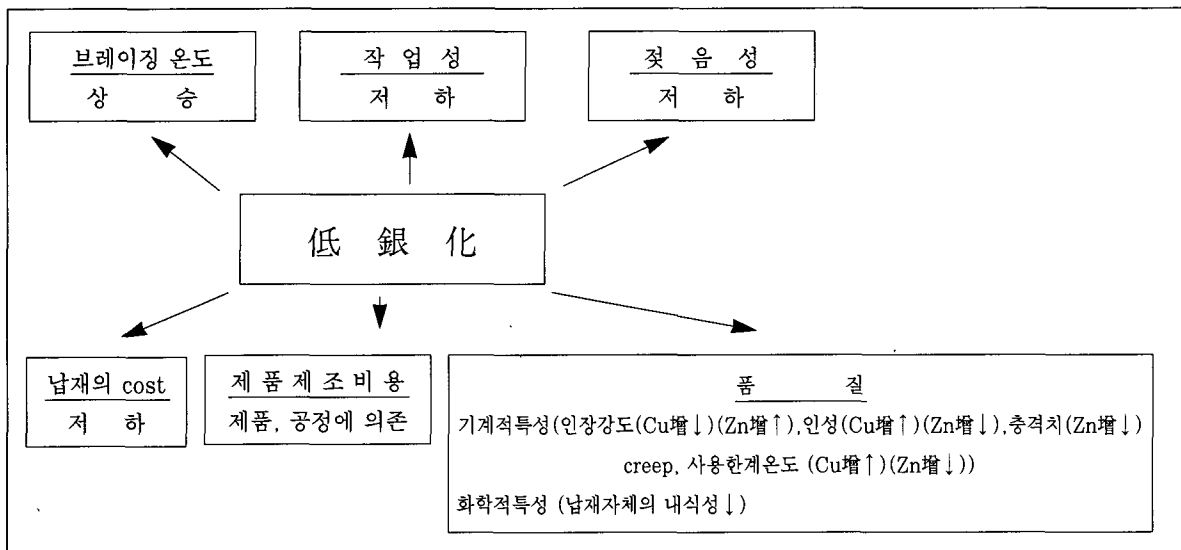
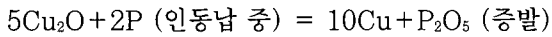


Fig. 1 은납의 저은화에 따른 영향 (↑ : 상승, ↓ : 저하)

로는 사용될 수 없다. Fe-P와 Ni-P계의 취약한 화합물이 계면에 연속적으로 형성되어 접합강도가 유지될 수 없기 때문이다.

인동납을 사용한 동의 브레이징에서는 다음식과 같이 동산화물 환원작용이 있는데, 이것을 self-fluxing(자용제성)이라고 한다. 이 때문에 순동은 flux를 사용하지 않고 대기중 브레이징이 가능하다.



인동납의 실제 브레이징 공법에서는, 토치 브레이징에서는 가스(vapour) flux를 이용하고, 열교환기류의 로내브레이징은 양호한 브레이징성 확보 및 동모재의 산화방지를 위해서 분위기(N₂+CO₂, N₂+H₂등)를 사용한다. 브레이징은 액상선온도 이하에서도 가능한데, 이것은 동모재의 침식 억제에 좋다. 저온 단기간 브레이징일수록 침식억제 및 모재의 기계적 특성열화가 적어진다. 단, 가열속도가 느리거나, 좁은 틈사이로 침투시에 용융된 납재가 분리(熔分)를 일으키기 쉽다. 인동납은 에어컨등의 동배관에 자주 사용된다. 가장 많이 사용되는 용도는 에어컨류의 U band의 브레이징이고, 이때 사용되는 납재는 BCuP-2 또는 2% Ag가 들어간 ring상의 BCuP-6를 이용한다. 모재 보호를 위해 배관내부로 질소가스를 흘려서 브레이징 시공을 하기도 한다.

순간온수기와 목욕탕용 탕비기에는 BCuP-2, BCuP-3, BCuP-6 등이 사용된다. BCuP-5는 수송

용기, 발전설비등 특수하게 사용된다. 소자원, 비용절감을 위해 은납을 인동납으로 바꾸려고 할 때는, 제품의 신뢰성이 포함된 종합적인 평가가 중요하다.

그 외의 동납은 특수용도이다.

② 인동계 납재의 조직

그림2는 동계 납재의 분류와 그 조직을 보인 것이다. Cu-P이원계는, Cu측에 고용도를 가지는 동고용체(이하 (Cu)로 기술한다)와 Cu₃P로 구성되는 공정(8.38mass%P, 714℃15))으로 이루어져 있다. Cu-P 이원 인동납은, Cu₃P의 경하고 취성을 갖는 성질과 동계 모재의 침식을 고려하여, (Cu)초정과 (Cu) + Cu₃P 공정조직으로 되어 있다. Cu-Ag-P 삼원계 납재는, L(액상) → L + (Cu) → (Cu) + (Ag) + Cu₃P의 응고과정을 거치기 때문에, 조직중의 (Ag)는 삼원 공정반응에 의해 나타난다.¹⁶⁾ Cu-Sn-P삼원계는 (Cu)와 Cu₃P외에 Cu₄₁Sn₁₁(δ상, 정방정)이 존재하기 때문에 경하고 취성이 있다.^{16,17)}

이와같이 인동납은 Cu₃P와 Cu₄₁Sn₁₁라는 경하고 취성이 있는 금속간 화합물을 함유하기 때문에, 가공이 어려워 봉으로의 가공은 열간압출로 행한다. 인동납의 압출조직이 미세할수록 수작업 토치 브레이징에서는 작업성이 좋다고 할 수 있다. 급열시에는 조직이 미세할수록 공정반응에 의한 용해가 빠르기 때문인데, 용분(熔分)의 경감에도 좋다.

사진4에 BCuP-2(Cu-7%P)납재의 용분(熔分)예를 보였다. 열교환기의 동판과 pipe의 브레이징 예인데,

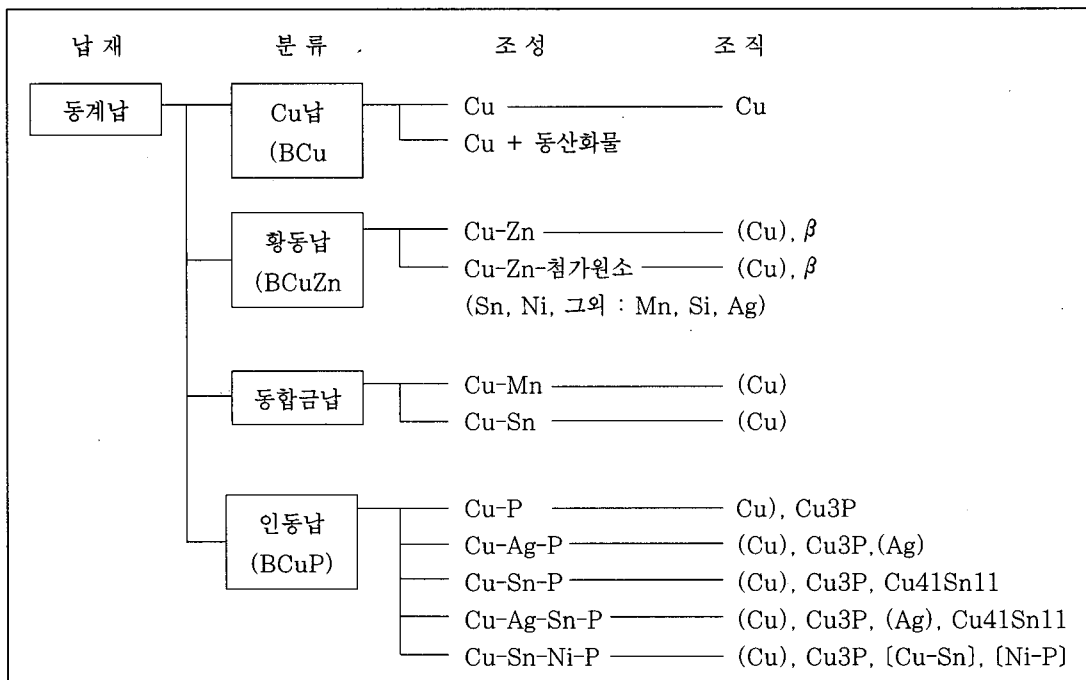


Fig. 2 동계 납재의 분류와 납재의 조직

상측(사진의 우측)으로부터 하측(사진의 좌측)으로 납재가 흐른다. 하측에는 공정조성 성분만으로 되어 있는 반면 상측에는 고용점의 초정(Cu)이 존재한다. BCuP-1(Cu-5%P)은 P가 적고, Cu-P 이원 공정조성(8.3mass %P)으로부터 더욱 떨어져 용융온도 범위가 200℃를 넘어서기 때문에 더욱 용분(熔分)이 뚜렷하게 나타난다.

브레이징후의 모재강도가 높으면 열교환기를 얇게 만드는 박육화 및 고압력화 설계가 가능하기 때문에, 열교환기의 소형화 및 고성능(고효율)화를 꾀하여 소자원, 소에너지화를 지향하는 지구 환경 문제의 경감에 기여할 수 있다.

인동납의 저용점화에는 Ag, Sn의 첨가가 효과적이다. 그러나, Sn, Ag, P함유량의 증가와 함께 Cu₃P가 증가하고, Sn 함유재에서는 Cu₄₁Sn₁₁까지 생겨서 취성이 생기기 때문에, Cu고용체의 초정출 범위가 아니면 사용할 수 없어서 첨가량을 너무 증가시키지는 않는다. Cu-Ag-P 및 Cu-Sn-P 삼원계에서는 각각의 고상선 온도가 646℃, 642℃정도이고, 액상선은 670℃까지 밖에 저하하지 않는다. Cu-Ag-Sn-5%P 4원합금에서는^{18~20)} Ag와 Sn의 복합첨가에 의해 액상선 온도가 640℃까지 저하된다.

Cu-Ag-Sn-P에서 초정이 (Cu)인가 Cu₃P인가는 P당량 (Peq)을 사용한 다음의 식에 따라 판정할 수 있다.^{19,20)}

$$P_{eq}(\text{mass \%}) = [P] + 0.238[Sn] + 0.066[Ag]$$

여기서 [P], [Sn], [Ag]는 각 원소의 양 (mass %)이다. $P_{eq} > 8.38$ 되면 Cu₃P가 초정출, $P_{eq} < 8.38$ 되면 Cu가 초정출한다. $P_{eq} = 8.38$ 에서는 양상(兩象)이 동시에 정출한다. 실용적으로는 물론 (Cu)가 초정출하는 범위를 사용한다. Cu-Ag-Sn-5P납재로 동을 700℃, 30s의 조건으로 브레이징할 경우 Ag, Sn 둘다 함유량이 증가함에 따라 침식깊이가 증가된다.^{19,21)} P의 증가는 침식 깊이를 현저히 증가시키기 때문에, 가능하다면 P 첨가량이 적은 범위에서, 즉 동 고용체가 초정출하는 범위에서 저용점 조성을 선택하는 것이 좋다.

각 원소의 동에 대한 침식깊이의 영향을 침식(침식)계수로 구하면 Ag의 침식계수 0.03 (700℃, 30s), Sn의 침식계수 0.01 (700℃, 30s), P의 침식계수 0.11 (650℃, 30s)이 되는데, P의 영향이 큰 것을 알 수 있다.²²⁾

③ 비정질 포일(foil)

인동납은 경하고 취성이 있어 봉, 선, 또는 판으로의

가공이 어렵다. 이 때문에 비정질 제조장치를 이용하여 급냉응고 포일을 만들기도 한다.^{22~24)} 특히 다원계 인동납에서는 취성이 증가하기 때문에 편리하다. 두께 약 30μm의 Cu-Ni-Sn-P 또는 Cu-Sn납의 급냉응고 포일이 시판되는데, Cu-Ni-Sn-P, 전술한 Cu-Ag-Sn-P도 비정질로 만들 수 있다.

급냉응고 포일은 plate fin형 열교환기의 브레이징에 편리하다. 분리된 sheet에 포일을 세워 임시로 붙여서, fin을 브레이징하는데, 동합금 brake pad와 plate등의 브레이징에 이용되고 있다.^{25,26)} 급냉응고 포일은 비표면적이 작기 때문에 분말납재와 paste에 비해, 브레이징성이 우수하다고 한다. 동계 납재의 경우, 수소와 진공을 이용하면 산화피막은 환원 및 증발에 의해 제거된다.

Cu-6Ni-9Sn-6P납재는 Cu-15Ag-5P(BCuP-5)납재에 비해 동이음매를 고온(400℃)으로 유지할 때의 기계적 성능의 안정성이 좋고 충격치의 저하율이 적다.²⁷⁾



Photo. 4 BCuP-2(Cu-7%P)의 용분 조직.

④ 철계 모재의 브레이징

전술한 바와 같이 인동납으로 철계와 Ni계 합금모재를 브레이징하면, 계면에 Fe₂P 또는 Ni-P 또는 Ni-P계 화합물이 연속해서 형성되고 접합강도가 저하하기 때문에 사용을 기피하였다. 하지만 Cu-Sn-P납으로 Ni-Cr을 함유한 304, 316, 321 등을 브레이징하면, M3P(M : Fe, Ni, Cr)형의 화합물이 불연속적으로 형성된다.^{28~30)} Sn첨가 인동납과 Ni-Cr함유 스테인레스강이 조합된다면 실용상 문제가 없을지도 모른다.

Cu-P-Sn계 paste로 브레이징한 스테인레스강/동 접합강도는 연강/동 접합강도에 비해 약 3 ~ 4배 크다.³⁰⁾ 연강의 브레이징에는 Cu-16 ~ 30Sn-10 ~ 18Mn계 납재가 사용 가능하다.³¹⁾

브레이징온도는 납재의 조성 및 모재의 조합에 따라 750 ~ 850℃를 선정할 수 있다.

가공성이 부족한 인동납은 분말을 바인더와 혼합한 paste로도 이용되고 있다.³²⁾ 타이어용 스파이크의 WC와 강의 접합에는 Cu-Ag-P paste가 이용되고 있다.³³⁾ 브레이징부에 Fe-P화합물이 형성되지만 사용시

에 압축력이 걸리기 때문에 문제가 되지 않는다.

동계납의 브레이징은 플럭스를 사용하는 것이 많으나, 환원성 분위기에서 plate fin형 열교환기를 동납으로 브레이징하는 등 fluxless법의 사용이 점차 증가되고 있다. 원래 flux를 필요로 하지 않는 인동납이나 브레이징 후 세정이 필요 없는 가스플럭스는 금후에도 동제품에의 사용이 증가될 것으로 예상된다. 보호성 분위기를 사용하여 동 모재의 산화를 억제하면, 인동납은 분위기의 질이 나빠져도 매우 양호한 유동특성을 보이는데, fillet형성을 증시하는 경우에 적당하다.

로내 브레이징에서는 가열 사이클이 길어지기 때문에 얇은 모재의 침식에 의한 용락(熔落)에 주의하여야 하는데, 액상선온도 이하에서의 적정온도 사이클의 선정이 중요하다.

인동납이 이제까지 사용되지 않았던 철계 합금으로도 적용가능하다고 하는 보고^{29, 30)}가 증가하고 있다. 하중, 온도, 화학적 분위기 등의 사용조건을 고려하면 적용 가능한 범위가 확대되리라 생각된다. 물론 사전에 충분한 신뢰성 실험을 행하는 것이 중요하다는 것은 말할 나위도 없다.

(3) Ni계 납재를 사용한 브레이징

Ni납재를 사용한 브레이징은 Inconel과 Hastelloy 등의 Ni기 내열합금이나 스테인레스강의 브레이징에 사용되고 있다.

Ni기 합금은 소위 액상 확산브레이징(접합)이라고 불리고 있는 장시간 브레이징에 의해서, 납재중의 B, Si등의 용점강하 원소를 모재중으로 확산시켜 등온응고 접합을 행하는 것이 있다. 이 접합법은 브레이징부와 모재조직의 균일화를 꾀하고, 기계적특성, 특히 creep수명을 모재와 동등하게 하는 것을 시도하고 있

다.^{34,35)} 기본적으로는 모재 조성에 용점강하 원소를 첨가한 납재를 사용하면, 액상확산 브레이징 후의 조직 균일화와 creep특성 개선에 효과가 있다.

Ni기 납재는 경해서 가공성이 나쁘기 때문에, 과거에는 분말상이나 binder로 혼합한 paste가 사용되어 왔다. 그러나, 최근에는 저가격으로 공급되는 비정질 포일³⁶⁾의 사용이 증가되고 있다. 이를 사용하면, 간단한 맞대기 이음부에서는 분말상 납재나 paste를 사용한 경우에 비해 브레이징 결함이 적은 고품질의 이음부를 얻을 수 있다.

최근에는 Ni납재가 내식성과 내열성이 요구되는 스테인레스강계 열교환기의 브레이징에도 자주 사용되고, Ni계 납재 합금의 개발 연구도 행해지고 있다.^{37,38)}

Ni계 납재를 조성별로 분류하면 그림3과 같은데, Ni-(Cr)계와 Ni-Pd로 크게 나뉘어진다.

Ni 납재중의 용점강하원소는 B, Si이고, P와 Si는 단독으로 10%, B와 최대 4%까지 첨가된다. Ni납재에 규정된 납재의 최저 고상선은 875℃ (추천 브레이징온도의 최저치는 925℃), 최고 고상선은 1080℃이다. 사용 한계온도는 용점에서부터 보면, 574K [(875+273)K/2, 즉 301℃] ~ 676.5K [(1080+273)K/2, 즉 403.5℃]로 되며, 고온 사용에는 적합하지 않다. 브레이징부에 B, Si등의 용점강하 원소의 화합물이 잔재하면 경하고 취성이 생기기 때문에, 납재의 용융 온도범위에서 장시간 유지하여 이들 원소를 확산시키므로서 이음부 부분의 용점상승과 기계적특성, 특히 충격치가 향상된다.³⁹⁾ Paste는 각종 연소기기, honeycomb등에 이용되고 있다. 비정질 포일은 plate fin형 열교환기의 브레이징에 편리하다.

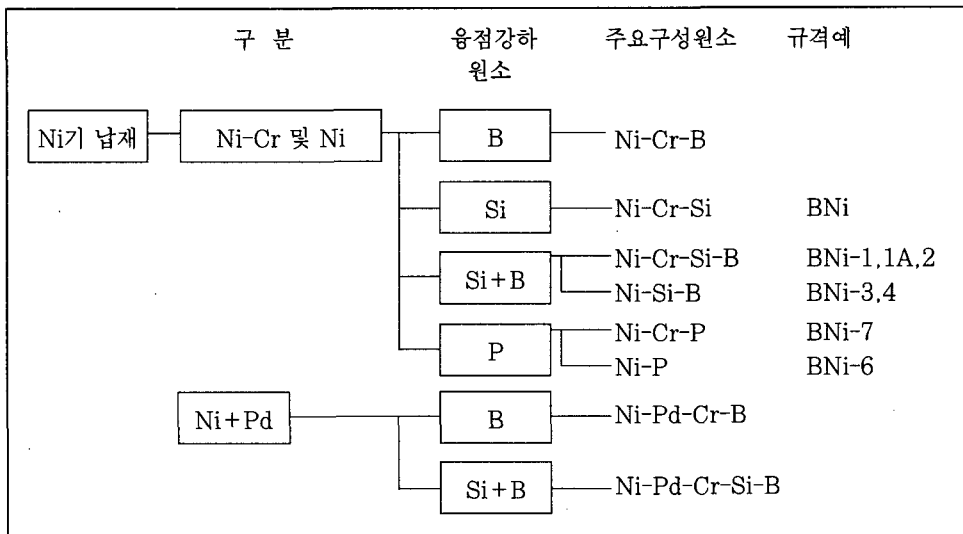


Fig. 3 Ni기 납재의 분류

분말상 납재는 유기 바인더로 고정한다. 시판되는 바인더들은 브레이징 온도에서 분해, 증발되기 때문에, 브레이징성에는 기본적으로 영향을 주지 않는다고 생각되고 있지만, carbon잔사가 로내를 오염시킨다.

Ni 브레이징에는 각종 fluxless법이 사용되고 있다. 즉 고진공, 감압 carrier gas, 수소, 그외의 환원성 분위기이다. 대기압 Ar 분위기는 환원작용이 없기 때문에, 산소농도 수 ppm, 이슬점 -65℃이하의 정제가스를 사용하는 것이 좋다. 그렇지만, 현실적으로는 불활성가스 사용시, 모재 표면의 산화피막이 얇은 쪽이 브레이징 결과가 좋다. N₂가스를 사용해서 스테인레스강을 브레이징하면, N₂분압과 온도의 관계에 따라 스테인레스강이 질화할 위험성이 있다. Ni납의 브레이징 온도는 1000℃이상이기 때문에, 10⁻³진공도에서 진공 브레이징된다면 스테인레스강중의 Cr의 증발속도도 꽤 크고 또 수소가스 등에 의해 환원속도도 빠르기 때문에 납재 및 모재표면의 산화피막은 브레이징중에 간단히 환원 또는 원소증발에 의해 파괴된다.

4. 맺 음 말

이상에서 열교환기의 브레이징 기술에 관해 간략히 알아 보았다. 본고에서는 브레이징 공정기술보다는 브레이징 재료를 중심으로 기술하였다. 다만, 알루미늄계 브레이징 재료에 대해서는 필자들의 기보고^{8,10,11})에서 기술한 바 있기 때문에, 본고에서는 생략하였다. 금후에도 브레이징 재료의 저융점화, 브레이징 소재의 다양화, 고기능화등 많은 기술의 발전이 예상되는데, 국내 열교환기의 브레이징 기술 수준은 중소기업의 경우 아직도 미진한 상태이다. 본고가 이에 작은 도움이 되었으면 한다.

참 고 문 헌

1. 川瀬寛, "최근의 알루미늄 브레이징기술," 용접기술(일본) (1996. 4), p.82.
2. 정재필, "Cu/STS 열교환기의 Brazing기술개발," 한국기계연구원, (1995. 6).
3. 정재필, "스테인레스강제 열교환기의 균열 원인분석," 기업기술지도보고서, (1998).
4. J. C. Ambrose외, BABS 6th International Conf., High Technol. Joining, (1991). Paper 8
5. M. M. Schwartz, "Brazing," ASM International, Ohio, (1987), p.44.
6. 齋藤雅男, 仲西恒男, 川 信行, 일본용접학회강연회개요, 제26집 (1980), p.174
7. 정재필, "가스보일러용 Cu/STS 열교환기 개발을 위한 Brazing기술 개발," 한국기계연구원, (1994).
8. 정재필외, "일본의 브레이징 기술과 동향(1)," 대한용접학회지, 12권 4호, (1994), p.50.
9. 竹本正, "최근의 브레이징기술과 그 응용(5) 최근의 니켈 브레이징과 스테인레스강제품," 쇼이테크, (1992), 5월호, p. 62.
10. 정재필외, "日本에서의 알루미늄의 진공 브레이징, 대한용접학회지," 13권, 1호, (1995) p.62.
11. 정재필외, "알루미늄의 비부식성 플럭스 브레이징," 대한 용접학회지, 13권 2호, (1995), p.53.
12. "용접접합편람," 대한용접학회, (1998) p. 23.
13. 정재필, "알루미늄 evaporator 브레이징부의 불량원인 분석," 기업 기술지도 보고서, (1998).
14. M.M. Schwartz : "Brazing," ASM International, (1987).
15. K. M. Weighert : Weld. J., 35, No 7, (1956), p.672.
16. 竹本正외 : 일본 용접학회논문집, 5 (1987), p.8.
17. 竹本正외 : 신동기술연구회지, 26 (1987), p.64.
18. 大石惠一郎외 : 신동기술연구회지, 30 (1991), p.57.
19. 竹本正외 : 일본용접학회논문집, 5 (1987), p.200.
20. T. Takemoto외 : Trans. JWRI, 18 (1989), p.93.
21. T. Takemoto외 : Trans. JWRI, 18 (1989), p.199.
22. A. Rabinkin, Materials Letters, 2 (1984), p.487.
23. I. Okamoto외: Brazing & Soldering, No12, (1987), p.61.
24. A. Datta외 : Weld. J., 93, No10, (1984), p.14.
25. 竹浪嗣人 : 金屬, No 3, (1988), p.11.
26. 竹浪嗣人 : Boundary, 7 No11, (1991), p.45.
27. A. Rabinkin : Weld. J., 67, (1988), p.21.
28. 정재필외, "동-스테인레스 강 브레이징 접합부의 계면조직과 접합강도에 관한 연구(II)," 한국재료학회지 Vol.3, No.6, (1993), p.668.
29. 정재필외, "동과 스테인레스강 브레이징부의 전단

- 강도에 미치는 Sn, P의 영향연구," 대한금속학회지, 7, No.3 (1989), p.36.
30. D. Mottram외 : "Brazing copper to mild and stainless steels using Cu-P-Sn paste," Weld. J., 65, No 4, (1986), p.43.
31. S. K. Chatterjee외 : Weld. J., 69 No10, (1990), p.37.
32. A. C. Chilton외 : Brazing & Soldering, No5, (1983), p.7.
33. R. M. Roberts : Brazing & Soldering, No1, (1981), p.8.
34. D. S. Duvall외 : Weld. J., 53 No 4, (1974), p.203.
35. 田村博외 : 일본용접학회지, 49 (1980), p.462.
36. 竹浪嗣人 : 金屬, No3, (1983), p.11.
37. D. Bose외 : Weld. J., 65 (1986), p.23- s.
38. E. Lugscheider외 : Weld. J., 67 (1988), p.215- s.
39. E. Lugscheider외 : Weld. J., 65 (1986), p.216- s.