

## 스테인리스강용 브레이징 합금과 브레이징 공정

홍성철\* · 박상윤\* · 정도현\* · 오주희\*\* · 이재훈\*\*\* · 김원중\* · 정재필\*,†

\*서울시립대학교 신소재공학과

\*\*한국켄테크 주식회사

\*\*\*한국생산기술연구원 주조기술센터

### Brazing Filler Metal and Process for Stainless Steel

Sung Chul Hong\*, Sang Yoon Park\*, Do Hyun Jung\*, Joo Hee Oh\*\*, Jae Hoon Lee\*\*\*,  
Wonjoong Kim\* and Jae Pil Jung\*,†

\*Dept. of Mater. Sci. and Eng., University of Seoul

\*\*Chem-Tech Korea

\*\*\*Korea Institute of Industrial Technology

†Corresponding author : jujung@uos.ac.kr

#### Abstract

Brazing technology has been widely used among bonding technologies because it enables to bond various metals, even ceramics, dissimilar metals, and give higher bonding strength, cost down, automation, etc. However, there are many parameters to achieve optimal brazing joint such as brazing alloys, brazing atmospheres, designs and brazing methods, etc. The brazing parameters affect seriously on the characteristic of final brazing products. Stainless steel is broadly used in high temperature applications, chemical industry, heat exchangers, muffler of vehicles, and so on. Accordingly, in this article, brazing alloys, forms of brazing alloys, brazing methods and atmospheres for stainless steel were described.

Key Words : Stainless steel, Brazing, Nickel brazing, Furnace brazing, Brazing alloy

### 1. 서 론

스테인리스강은 통상 Cr의 함량이 12% 이상인 철(Fe) 합금을 말하는데, 첨가 원소의 종류와 양에 따라 페라이트계, 오스테나이트계, 마르텐사이트계, 석출경화계 등으로 나뉘어진다. 스테인리스강은 열교환기나, 화학 공업, 고온 및 저온용 소재, 식기, 배기관 등 산업 전반에 걸쳐 구조부품이나 기계부품으로 사용되고 있다. 스테인리스강의 접합법으로서의 브레이징은 대량 생산이 가능하고, 접합이 용이하며, 접합 후 가공이 필요 없는 장점이 있어 널리 사용되고 있다. 본고에서는 브레이징 합금, 브레이징 방법, 브레이징 분위기 등과 스테인리스강의 브레이징성에 관해 기술하고자 한다.

### 2. 브레이징 합금

#### 2.1 브레이징 합금의 종류

브레이징 합금은 모재 사이에 접합을 위해 충전되거나 도포되는 것으로 모재와 젖음성(wettability)이 좋아야 하며, 적당한 용융점(melting point)을 가져야 한다. 또한 브레이징시 모재와 친화력이 있어야 하고, 적절한 물리적/기계적 성질을 가져야 한다. 브레이징 합금 선택시 고려사항으로는 모재의 종류와 브레이징 방법, 합금의 가격, 모재의 형상, 합금의 용점 및 용융 온도 범위, 브레이징 강도 등이 있다. 브레이징 합금에는 다음과 같은 종류들이 있다.

(1) 은계: 은(Ag)은 용융점이 960.8°C로 내식성, 전기 전도도, 열전도도 등이 우수하며, 다른 원소와 결합하여 강한 강도를 가진다. 은계 브레이징 합금의 용점은 보통 600~800°C 범위이다. 은계 브레이징 합금은 용융상태에서 젖음성(wettability)이 이 좋다. 또, 가공성이 우수하여 선형, 박판형, 분말형 등 여러 가지 형태로 가공이 가능하다. 은계 브레이징 합금에는 Ag를

기반으로 Cu, Zn, Ni, Sn, Cd 등이 함유되며, 조성 에 따라 BAg-1에서 BAg-24, 규격 외 은계 합금 등 수 많은 종류가 존재한다. 스테인리스 강에 대해서는 Cd를 첨가한 것은 작업성, Ni을 첨가한 것은 강도와 내식성 등의 측면에서 유용하다.

(2) 동계: 동 (Cu)은 1083°C의 용점을 가진 금속으로 연성, 열전도성, 도전성, 내부식성, 강한 침투력 등 많은 장점을 가지고 있으며, 은에 비하여 상대적으로 저렴하다. 동계 브레이징 합금 제조를 위해, 동의 용점 저하를 목적으로 Sn, Zn을 첨가하기도 하고, 강도나 젓음성 개선을 목적으로 Ni, Ag 등을 첨가하기도 하며, 이 외에 미량의 원소가 첨가되기도 한다. 또한 은 과 동을 28:72의 비율로 하여, 780°C의 공정 합금 (eutectic alloy)으로 제조한 브레이징 합금도 있다. 황동계 브레이징 합금에 사용되는 아연 (Zn)은 낮은 용융점 (419.5°C)으로 인해 유용한 금속으로, 젓음성이 우수하며 상대적으로 저가이다. 그러나 Zn의 함량이 높을 경우 취성 파괴 (brittle)와 낮은 기화점 (vapor) 등의 문제점을 가지고 있다. 동계 브레이징 합금은 가공성이 좋아 은 (Ag)계와 같이 선형, 박판형, 분말형 등 여러 가지 형태로 가공이 가능하다. 휘발성이 있는 Zn, Ag 등을 함유하지 않은 동이나 동계 합금은 분위기를 이용한 로 브레이징이나 진공 브레이징에 사용된다.

(3) 니켈계: 니켈 (Ni)계 브레이징 합금의 경우 고온 강도가 높고, 내식성 및 고온 내산화성이 우수하므로, 항공기 부품, 각종 엔진, 터빈, 원자로 등에 많이 사용되고 있다. 니켈계 브레이징 합금은 용점이 975~1135°C 정도로 높고 (Ni 용점: 1453°C), 내식성이 우수하며 스테인리스강이나 니켈계 내열 모재의 브레이징에 많이 사용된다<sup>1)</sup>. 표 1은 니켈계 브레이징 합금의 예를 보인 것이다. 니켈계 브레이징 합금에는 Cr, B, P, Si, Fe, Cr, W 등이 함유되어 있으며, 경도가 높아 가공성이 나쁘다. 따라서 와이어나 판재로는 공급이 어렵고, 분말로 공급되는 것이 대부분이다. 다만, 급속냉각에 의한 비정질 박판상으로 제조되는 경우는 있

다. 브레이징 접합시 내식 특성의 열화를 방지하기 위해 대부분 진공 (vacuum)이나 환원성 분위기 브레이징용으로 사용된다. 니켈을 함유한 브레이징 합금은 스테인리스강 브레이징시 브레이징 계면의 부식을 억제하지만, 브레이징 합금의 유동성을 떨어뜨리는 경향이 있다. 그러나, 이는 오히려 접합부의 간격이 큰 곳의 브레이징에 효과적으로 사용될 수 있다.

스테인리스 강계 부품 접합용 니켈 페이스트는 합금 분말, 바인더와 분산제로 구성된다. 분산제의 주요한 특성은 합금 분말을 균일하게 분산시키고, 합금 분말의 산화를 방지하며, 브레이징 접합특성에 해를 주지 않아야 한다. 분산제는 브레이징 온도에 도달하기 전에 대부분 분해되어 브레이징 후 잔사 (residue)를 최소화해야 한다. 이러한 분산제와 바인더는 고분자를 용매에 분산하여 제조하는데, 사용되는 용매는 대부분 아세톤 계열 솔벤트 (solvent)를 사용하고 있다. 한편 진공이나 환원성 분위기에서는 브레이징 공정 전에 고분자의 열분해를 위해 대기 열분해 공정이 필수적으로 요구된다. 따라서 아세톤 계열의 솔벤트 사용과 유기성 고분자의 사용으로 페이스트 제조 공정 및 브레이징 공정 중에 유해가스 발생과 열분해를 통한 환경오염이 심각한 문제로 대두되고 있다. 이를 개선하고자 수용성 용매와 대기중에서 열분해가 필요 없는 분산제 및 바인더의 개발이 브레이징 업계의 최대 이슈로 대두되고 있다.

2.2 브레이징 합금의 형상

브레이징 합금의 형태는 봉, 선재, 판재, 페이스트, 프리 폼 형상, 도금 및 용탕형태 등 다양하다 (Fig. 1 참조). 브레이징 합금의 선택은 모재의 형상과 공급 방법에 따라 결정되며, 합금의 형태는 다음과 같다.

2.2.1 봉, 선재, 판재

봉, 선재, 판재는 대표적인 브레이징 합금의 형태이다. 봉 형상의 브레이징 합금은 수동 브레이징용으로

Table 1 Nickel brazing alloys

Composition							Temp Range (°C)	Comments
Ni	Cr	Fe	Si	B	P	Co		
73.1	14.0	4.5	4.5	3.2		0.7	975~1040	For STS, Ni, Co alloys. For high strength
73.8	14.0	4.5	4.5	3.2			975~1080	
82.3	7.0	3.0	4.5	3.2			970~1000	
91.8		0.5	4.5	3.1			980~1040	
93.1		1.5	3.5	1.8			981~1064	
89.0					11.0		875	Low melting point alloy
75.9	14.0				10.1		875	



**Fig. 1** Various brazing alloys (left: amorphous foil, middle: paste, right: wire)

많이 사용되며, 선재는 링 제조용이나 토치 브레이징에 사용되고, 판재는 주로 와셔 등 특수 형상을 제조하는데 많이 사용된다. 대부분의 브레이징 합금은 붕, 선재, 판재로 가공이 가능하나, 니켈합금은 붕이나 선재, 판재의 생산이 어렵기 때문에 분말, 페이스트 상태로 제작하여 많이 사용된다. 판재의 경우 박판상의 비정질 합금 (amorphous alloy)의 형태로 생산되고 있다. 여기서, 비정질 합금이란 결정질이 아닌 합금을 말하며, 고체에서 원자의 결합상태에 규칙성이 없는 합금을 일컫는다. 비정질 박판은 수십  $\mu\text{m}$ 의 두께를 가지며, 쉽게 휘어지거나 가위나 칼로 자를 수 있기 때문에 자유로운 모양의 형상으로 만들기 쉽다.

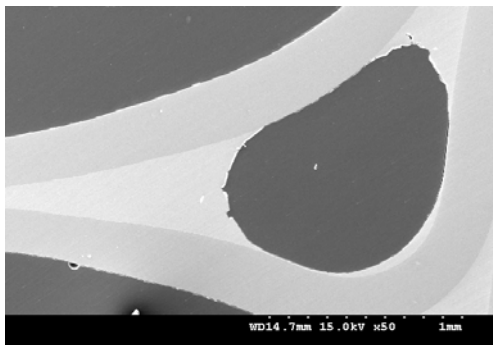
Fig. 2는 박판형 용가재로 브레이징된 STS의 모서리부 큰 이음부 간격에 발생한 기포 결함을 보인 것이다.

2.2.2 페이스트

페이스트는 주로 자동화를 목표로 개발된 것이라고 할 수 있으며, 프리 폼 (pre-form), 선재 등을 사용하기 곤란한 곳에 주로 사용된다. 브레이징 페이스트는 용가재 금속분말, 바인더, 플럭스 3가지 성분으로 크게 나눌 수 있다.

① 분말

브레이징 합금을 분말로 만드는 방법은 가스 분사법 (gas atomization process)이 가장 많이 사용되고 있



**Fig. 2** Void defect produced at STS brazed joint

다. 이는 페이스트의 공급 (dispensing)을 용이하게 하기 위해서 분말을 구형으로 만들어야 하기 때문이다. 분말로 만들 때에는 합금 중에 불순물과 산화물이 적어야 하며, 분말의 크기가 일정하고 구형이어야 좋은 분말이라고 할 수 있다.

② 바인더

바인더 (binder)는 특수 화학 물질로 브레이징 가열에 의해 타고 난 후에도 찌꺼기가 남지 말아야 한다. 또한, 브레이징 분말과 분리되지 않고 장기간 유지되어야 하며, 페이스트로서 적절한 점성과 유동성도 갖추도록 해야 한다.

③ 플럭스

플럭스는 페이스트에 함유되는 경우도 있고, 그렇지 않은 경우도 있다. 대기 중에서 행해지는 토치 가열, 고주파 가열, 저항 가열에는 플럭스가 필요하며, 고순도 분위기 로나 진공 로에서는 플럭스가 필요 없다. 그러나 분위기가 약간 나쁜 경우에는 미량의 플럭스를 넣기도 한다. 따라서 브레이징 페이스트는 가열방법, 모재의 종류, 도포방법, 고객의 특별한 요구에 따라 다양하게 제조될 수 있다. 올바른 페이스트를 선택하기 위하여서는 현재 상황과 요구 사항을 알아야 한다. Fig. 3은 분말상의 브레이징 플럭스의 예를 보인 것이다.

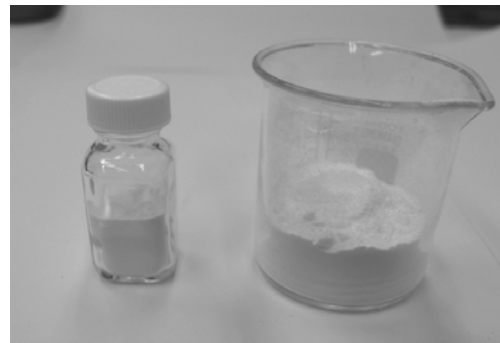
2.2.3 특수형상

브레이징 합금의 특수 형상 (pre-form)으로는 링, 와셔 외에 고객의 요구에 따른 특별한 형상 등 다양한 형태로 제작되고 있다. 이들의 형상은 제품형상, 가열방법, 용가재의 양, 기타 제품이 요구하는 상황에 따라 결정된다.

3. 브레이징의 방법

브레이징시 사용되는 열원에 따라 브레이징법을 분류하면 다음과 같다<sup>2)</sup>. 단, 로 (furnace) 브레이징은 4절에서 기술하기로 한다.

(1) 토치 (torch) 브레이징: 접합 부위에 플럭스를



**Fig. 3** Brazing flux (powder type)

도포한 후 토치로 접합할 부위를 가열한다 (Fig. 4 참조). 용가재로는 와이어 (봉)나 프리폼 (pre-form) 등 다양한 형태를 사용할 수 있다. 스테인리스강의 경우 크롬 산화피막이 강하기 때문에 활성이 좋은 플럭스를 사용한다. 연료 가스로는 아세틸렌, 프로판, 천연가스 등을 사용할 수 있고, 연소를 위해 산소나 공기를 혼합한다. 스테인리스강은 열전도도가 작아서 (오스테나이트계: 0.039, 연철: 0.170 cal/cm·sec·°C) 불꽃 가열 시 국부 과열이 발생하기 쉽다. 또 열팽창 계수가 크기 때문에 (오스테나이트계:  $16.3-18.9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) 열 변형이 발생하기 쉬워 화구의 선정과 불꽃 조절에 주의가 필요하다.

(2) 저항 (resistance) 브레이징: 접합부위에 용가재를 넣고 전극을 통하여 전류를 흐르게 하여 발생하는 열을 이용해 브레이징 하는 것이다. 저항 브레이징에는 간접 가열법과 직접 가열법이 있는데, 간접 가열법은 고저항의 탄소 전극으로 가압, 통전, 발열시켜 인접한 피접합재를 가열한다. 직접 가열법은 피접합재의 이음부가 접촉저항에 의해 발열하므로, 약 1초 정도의 극히 단시간에 가열이 가능하다. 이러한 저항 브레이징은 비교적 단순한 형태의 이음에 이용되고, 이음이 길거나 형태가 복잡하면 전류가 일정하지 못하기 때문에 양호한 브레이징이 되지 않는다.

(3) 유도가열 (induction) 브레이징: 고주파 유도전류에 의한 표피 효과에 의해서 접합하는 방법으로 가공물을 고주파 가열 코일의 내부 또는 부근에 놓고 가열하는 방법인데, 급속한 가열과 국부 가열이 가능하다 (Fig. 5 참조). 일반적으로 사용되는 주파수의 범위는 1~10,000 kHz 정도이다. 이 때, 피접합재의 가열 깊이는 주파수의 제곱근에 반비례 한다. 고주파 브레이징법은 열효율이 높고 급속 가열이 가능하며, 자동화가 용이하고 출력제어가 간단하다. 그러나 복잡한 형태의 부품 가열이 어렵고, 이종 제품의 균일한 가열도 어려운 편이다. 고주파 가열은 고주파 가열 코일에 전류를 흘림으로서, 전자(電磁) 유도 작용에 의해 피접합 급속

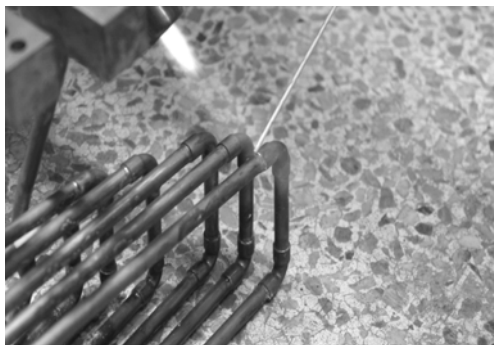


Fig. 4 Example of torch brazing

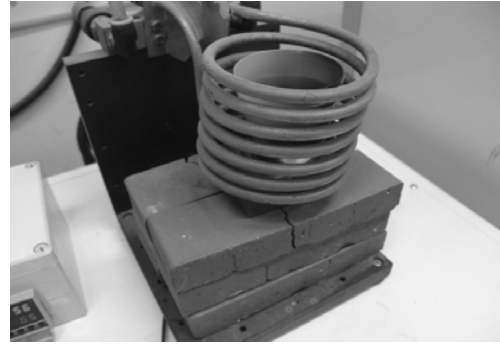


Fig. 5 Example of induction brazing

표면에 유도전류를 발생시킨다.

(4) 적외선 (infrared) 브레이징: 적외선을 열원으로 이용하는 방법으로서 최근 강력한 수정 램프 (quartz lamp)가 개발됨으로써 허니콤 (honeycomb) 구조물을 제작하는 데 이용되기 시작하였다. 이 방법은 무접촉으로 브레이징을 하는 방법으로 조건의 제어가 간단하고 연속가공이 가능할 뿐 아니라 짧은 시간에 국부 가열이 가능하기 때문에 브레이징부에 대해 열의 영향이 작은 특징을 가지고 있다.

#### 4. 로 (furnace) 브레이징

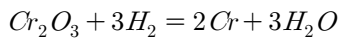
로 브레이징은 브레이징 로를 사용하여 450°C 이상의 온도에서 환원성 가스 (수소-질소, 분해 암모니아, LPG 및 LNG 등)를 사용하거나 진공 상태에서 양 모재를 접합하는 방법이다. 로 브레이징은 작업 공간 내에서 균일한 온도를 제공하기 때문에 설계한 의도대로 제품을 만들 수 있다<sup>3)</sup>. 로를 이용한 브레이징은 로 내에서 제품 전체가 가열되며, 정밀한 온도 제어가 비교적 쉽고 균일한 품질을 얻을 수 있다. 브레이징시 제품이 산화되지 않기 때문에 깨끗한 제품을 얻을 수 있고, 산세척, 그라인딩 등 추가 공정이 필요 없다. 또한 밀봉제품과 같이 플럭스 제거가 곤란할 경우, 혹은 다른 브레이징보다 고강도 및 양호한 브레이징 접합부가 요구될 경우에 사용되며, 복잡한 제품, 대량 생산에 적합하다.

##### 4.1 브레이징 분위기

브레이징하는 동안 산화물 생성을 억제하는 방법으로 분위기 상태에서 가열을 하는 방법이 있다. 분위기 브레이징을 하는 경우 일반적으로 플럭스 없이 환원 분위기 혹은 진공 분위기에서 브레이징 한다. 분위기 브레이징의 경우 플럭스를 사용하는 브레이징보다 다음과

같은 이점이 있다. 매우 깨끗한 브레이징 면을 얻을 수 있으며 제품 그 자체로 세척 없이 사용 가능하다. 열교환기, 허니컴 샌드위치 구조 등 복잡한 제품의 브레이징이 가능하며, 플럭스가 잘 빠져 나갈 수 없는 브레이징 면을 가진 제품에도 적합하다. 브레이징 분위기로는 가스 분위기만 사용, 가스 분위기/플럭스 사용, 진공/가스 분위기 사용의 3가지로 사용된다.

(1) 분위기 (가스) 로 브레이징: 전기로와 가스로를 사용하며, 작업량이 많거나 복잡한 경우에 적합하다. 로는 머플 (muffle)형, 전기저항 (electric resistance)형, 복사튜브 (radiant tube)형 등으로 분류할 수 있으며, 연속로의 형태별로 수평로와 경사로로 분류된다. 로 브레이징은 대기 중에서 용제를 사용하는 경우와 환원 가스 (주로 수소) 또는 진공 중에서 행하는 경우가 있다. 수소 분위기 중에서 스테인리스 강의 크롬 산화 피막은 다음 식에 의해 제거된다.



STS304의 경우 이슬점이 -50 °C일 때, 로 온도 700 °C부터 환원이 시작된다. 로 브레이징시 휘발성 금속 (아연, 납, 카드뮴 등)이 포함된 금속을 넣지 않도록 하며, 분위기를 청정하게 관리하는데 항상 주의한다.

(2) 진공 브레이징: 전열체에 의한 열이나 고주파 열을 사용하여 그 복사열에 의해 10<sup>-4</sup>~10<sup>-6</sup> torr 정도의 진공 용기속에서 플럭스 없이 접합하는 방법이다. 브레이징후 플럭스를 제거하기 곤란한 곳이나 가스 분위기가 침투하기 곤란한 곳에 적합하다. 또한, 진공 브레이징은 티타늄 (Ti), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브덴 (Mo), 탄탈륨 (Ta) 등을 포함한 많은 동종 또는 이종 금속의 접합에 적합하다.

진공 브레이징은 제품에 침탄, 탈탄, 질화의 염려가 없고, 기밀성이 우수한 브레이징이 가능하며, 온도 관리가 용이하다. 진공도에 따라 산소의 분압이 틀리기 때문에 가공물의 크기, 배기능력 등에 주의해야 한다<sup>4)</sup>.



Fig. 6 Vacuum brazing furnace

진공 브레이징의 단점으로는 냉각시간이 길기 때문에, 용융 브레이징 합금에 의한 취성이나 과도한 확산 문제, 내식성의 저하, 결정립의 조대화의 문제를 유발할 수도 있다. 진공 브레이징은 장시간이 걸리기 때문에 원가가 높은 편이고, 국부가열이 어렵다.

진공 브레이징은 기본적으로 브레이징 부분에 모든 가스를 제거하며 또한 산화가 일어나지 않는 수준으로 유지된다. 상업적으로 사용되는 압력은 10<sup>-4</sup>~10<sup>-6</sup> torr이며, 진공상태에서 몇 몇 산화물은 브레이징 온도에서 분해된다. 진공 브레이징은 스테인리스강, 슈퍼알로이 (super alloy)<sup>5)</sup>, 알루미늄 합금 및 난용성 합금 등의 브레이징에 광범위하게 사용된다.

#### 4.2 분위기 인자의 역할

브레이징 주요 분위기 인자의 역할<sup>6)</sup>을 요약하면 다음과 같다.

① 수소 (H<sub>2</sub>)는 고온에서 대부분의 금속 산화물의 생성을 억제하는 강력한 인자이며, 때로는 몇몇 모재에 수소취성 (hydrogen embrittlement)을 일으키기도 한다.

② 일산화탄소 (CO)는 고온에서 철, 니켈, 코발트, 등의 산화물 생성을 억제하는 인자이며 때로는 탄소를 공급하는 인자로도 사용된다. 일산화탄소는 독성이 있기 때문에 반드시 배기 및 통풍에 주의해야 한다<sup>7)</sup>.

③ 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>)는 브레이징 분위기에서 광범위하게 존재하는 인자이며 CO/CO<sub>2</sub>의 적정한 비율은 강의 브레이징에 있어서 분위기 안정을 위함과 동시에 탈탄을 방지하기 위하여 필요하다. 고온에서는 CO가 더 안정하며 저온에서는 CO<sub>2</sub>를 형성한다.

④ 질소 (N<sub>2</sub>)는 로내의 공기를 치환하기 위하여 사용된다. 질소는 대부분의 금속과 반응하지 않으며, Cr, Mo, Ti, Zr 등과 같이 질화 가능성이 있는 금속은 고순도의 질소를 사용하는 것이 좋다. 질소는 매우 안전하며 폭발성이 없고 가연성도 아니다.

⑤ 수증기 (H<sub>2</sub>O)의 양은 이슬점 (dew point)에 의해 표시된다. 이슬점은 가스내의 수분이 응축하는 온도를 나타낸다. 수증기는 일반적으로 브레이징하는 동안 필요 없으며 많은 양의 수증기가 존재할 때 탈탄이나 산화의 원인이 되기도 한다.

⑥ 산소 (O<sub>2</sub>)는 브레이징 분위기에서 항상 불필요한 인자이다.

⑦ 황 (S)은 분위기 중에서 백해 무익하며 여러 경로를 통해서 분위기에 유입된다.

⑧ 스테인리스강의 브레이징에는 분위기 가스로 수소 가스 또는 N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub> 가스를 사용하며, 산소농도 50 ppm 이하의 조건이 적당하다.

### 5. 맺 음 말

최근 각종 열교환기, 연료전지 등의 성능향상을 위해 Ni계 브레이징의 수요가 증가하고 있으며, 또한 스테인리스강과 이종금속과의 브레이징 연구<sup>8-10)</sup>도 관심을 받고 있다. 이에 따라 기술적, 경제적, 환경적 측면을 고려하여 새로운 브레이징 기술의 개발 및 유해 물질이 없는 페이스트 등 브레이징 용가재 개발에도 노력하고 있다. 브레이징을 이용한 접합 기술은 대량 생산 및 높은 강도, 작업의 편리성 등의 이점으로 인하여 적용 분야가 점차 확대되고 있다. 본 고를 통하여 소개한 스테인리스강의 브레이징 지식이 브레이징에 관한 이해와 응용에 다소나마 도움이 되기를 기대한다.

### 감사의 글

본 논문은 제조현장 녹색화기술개발사업(SL122745)과 2011년도 서울시립대학교 학술연구용 첨단과제의 지원으로 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

1. Y. W. Lee, J. H. Kim : Influence of Brazing Temperature on Strength and Structure of SUS304

Stainless Steel Brazed System with BNi-2 Filler Metal : Fundamental Study on Brazeability with Ni Based Filler Metal(II), Korean Journal of Materials Research **17-3** (2007), 179-183

2. 강정운, 김무열 : Brazing 기술의 기초와 실제 IV: Brazing의 방법 및 장치, 대한용접접합학회지, 11-4, **10-23** (1993) (in Korean)

3. 실무위주의 브레이징 접합기술 10, 기계정보 기계기술, **32(10)** (2005), 122-137 (in Korean)

4. C. D. Lee, S. J. Na : A Study on the Vacuum Brazing of Carbon Steels to a Stainless Steel, The Korean Society of Mechanical Engineers A **56** (1988), 1083-1091 (in Korean)

5. K. H. Kim, K. H. Kim, M. G. Lee, H. H. Kim, S. W. Kim, S. H. Kim : Preliminary Investigation on Joining Performance of Intermediate Heat Exchanger Candidate Materials of Very High Temperature Reactor(VHTR) by Vacuum Brazing, KWS 2005-Autumn, **45** (2005), 195-197 (in Korean)

6. 문병기 : 고온 브레이징 기술의 현황, 한국기계연구소 소보, **97-112** (1998) (in Korean)

7. 강정운, 김무열 : Brazing 기술의 기초와 실제 (III), 대한용접접합학회지, **11-1** (1993), 9-20 (in Korean)

8. J. P. Jung, B. Y. Lee, W. C. Lee, C. S. Kang : Effect of Sn and P on the shear strength of copper to stainless steel brazed joint, Journal of KWS, **7-3** (1989), 36-43 (in Korean)

9. W. C. Lee, C. S. Kang, J. P. Jung, B. Y. Lee : A Study on Bonding Strength and Interfacial Structure of Copper-Stainless Steel Brazed Joint(II), Materials Research Society of Korea, **3-6** (1993), 668-677 (in Korean)

10. W. C. Lee, C. S. Kang, J. P. Jung, B. Y. Lee : Brazability between Cemented Titanium Carbide and 304 Stainless Steel, J. of the Korean Inst. of Met. Mater., **30-9** (1992), 1136-1143 (in Korean)



- 홍성철
- 1975년생
- 서울시립대학교 대학원생(박사과정)
- 3D 패키징, 전해 도금, 계면 평가
- e-mail : callihong@naver.com



- 박상운
- 1986년생
- 서울시립대학교 대학원생(석사과정)
- 전자패키징, 전해도금, 브레이징
- e-mail : risspu@uos.ac.kr



- 정도현
- 1985년생
- 서울시립대학교 대학원생(석사과정)
- 3D 패키징, 마이크로접합, 전기도금
- e-mail : sirsamual@naver.com



- 오주희
- 1966년생
- 한국켄텍(주) 대표이사
- 금속 분말 페이스트
- e-mail : jhoh@ctknet.kr



- 이재훈
- 1960년생
- 한국생산기술연구원 수석연구원
- 재료 설계 및 강도, 수명 평가
- e-mail : jaehlee@kitech.re.kr



- 김원중
- 1956년생
- 서울시립대학교 교수
- 금속 가공
- e-mail : wjkim@uos.ac.kr



- 정재필
- 1959년생
- 서울시립대학교 교수
- 마이크로접합, 전자패키징, 전해도금
- e-mail : jujung@uos.ac.kr