

진공브레이징에 의한 SUS304 스테인리스강과 BNi-2계 삽입금속의 접합특성 : Ni기 삽입금속에 의한 브레이징 접합성의 기초적 검토(I)

이용원[†] · 김종훈*

[†]ASE Korea Inc., Packaging Engineering

*한국생산기술연구원 환경·에너지본부 신재생에너지팀

Brazing Property of SUS304 Stainless Steel and BNi-2 Filler Metal with Vacuum Brazing : Fundamental Study on Brazeability with Ni-Based Filler Metal(I)

Yong-Won Lee[†] and Jong-Hoon Kim*

Packaging Engineering, ASE Korea Inc., Paju, Korea

*Environmental Energy Division, Korea Institute of Industrial Technology, Chonan, Korea

(2007년 2월 6일 받음, 2007년 3월 12일 최종수정본 받음)

Abstract Vacuum brazing method has been coming to an important process as one of the new fabricating techniques of metals and alloys. In this study, a vacuum brazing of SUS304 stainless steel with BNi-2 filler metal was carried out in 1×10^{-4} Torr of vacuum atmosphere. The formation of brittle intermetallic compounds in brazed joints between SUS304 stainless steel and BNi-2 filler metal is a major concern, since they considerably degrade the mechanical properties of joints. To obtain enough stable joining strength, it is necessary to understand the unique properties of brazing process with Ni-based filler metals containing boron. So, in this research we investigated the performance of SUS304/BNi-2 brazed system and the brazed joint properties were evaluated at room temperature by using tensile test. Metallurgical and fractographic analysis were used to characterize the microstructure, the mechanisms of brazing, and joint failure modes.

Key words Vacuum brazing, BNi-2 filler metal, intermetallic compound, brazing tensile strength.

1. 서 론

브레이징기술은 다점일괄접합, 이종금속과의 접합, 모재의 용융용접이 곤란한 경우 그 대체기술, 그 외 간편한 접합 방법으로서 열 교환기, 하니콤(honeycomb) 모양의 배관, 미세부품의 조립에 있어서는 필수 불가결한 기술로 이용되고 있다.^{1,2)} 한 예로서, 반도체 분야에서는 반도체 생산 장비 및 소자에 대한 냉각시스템의 경우 주요 구성 부품이 점차 고속도화, 고집적화, 소형화 되는 것에 따라 많은 열 발생으로 인한 시스템 오작동 및 다운현상을 방지하기 위하여 냉각 장치 내부에 직접 물을 순환시키는 수랭식을 채택하고 있다. 수랭식 구조체에서는 무엇보다도 수밀성, 기밀성 및 내식성이 중요하므로 그 접합기술에서는 구조체를 실링하는 방법에 있어서 가스

켓이나 체결나사 없이도 복잡한 형상의 구조체를 일괄 접합할 수 있는 진공 브레이징 기법이 적당하고, 구조체의 재료로서는 표면이 수려하고 내식성, 내열성, 강성이 뛰어난 오스테나이트 계열의 스테인리스강이 그 좋은 선택이라 할수 있다.^{3,5)} 또한, 스테인리스강의 브레이징에 사용하는 삽입금속은 Ag기, Cu기, Au기, Ni기 등이 있는데 수랭식 냉각장치와 같은 고온 고압의 환경에 적용하기 위해서는 Ni기 삽입금속이 적당하다고 알려져 있다.^{4,5)} 하지만 Ni기 삽입금속은 높은 용융점으로 인하여 Si, B, P 등의 용점 강화성분들이 첨가되어있는데 이것으로 인해 접합부가 상당히 취약해져서 브레이징의 고품질관리 및 신뢰성 확보가 어려운 것으로 현재 보고되어 있다.⁶⁻¹¹⁾

따라서 본 연구에서는 Ni기 삽입금속에 의한 스테인리스강의 진공브레이징 기술개발에서 품질고급화를 위한 그 기초연구로서 브레이징 특성 및 접합기구를 조사하고 브레이징 기계강도를 평가하는 것을 주 목적으로 하였으며, 또 접합 계면에서의 미세조직 및 반응생성물의 특성을 고찰하였다.

[†]Corresponding author

E-Mail : yongwonlee@asekr.com (Y. - W. Lee)

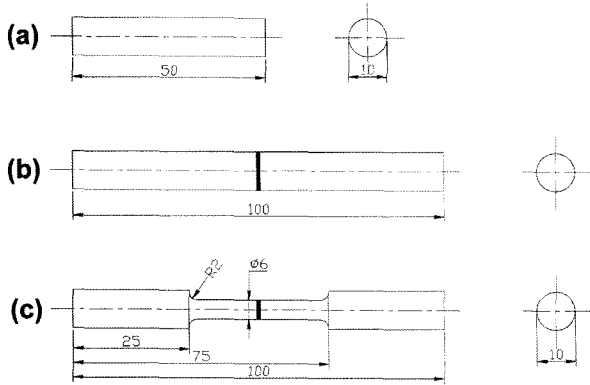


Fig. 1. Schematic of brazing specimen and base metal for tensile testing. (a) brazing specimen, (b) brazed joint, and (c) tensile test specimen.

2. 실험 방법

본 연구에 사용한 스테인리스강 접합시편은 SUS304로서 그 화학조성 및 모재 인장강도를 Table 1에 나타내었다. 브레이징 용 시편은 직경 10 mm의 환봉을 고속 커터기에서 Fig. 1(a)와 같이 $\text{O}10 \times 50$ mm 사이즈로 커팅하여 제작하였다. 커팅 후 시편의 접합면을 220 mesh 샌드페이퍼로 표면을 마무리(표면 거칠기: R_{\max} 4.4 μm) 하였고 아세톤 용액에서 3 min. 동안 초음파 세정하였다.

브레이징 삽입금속은 Ni기 합금에서 AWS 규격 BNi-series인 BNi-2계 합금 (TB-902, Tokyo Braze Co.)을 사용하였고, 그 삽입금속의 화학조성 및 용융온도를 Table 2에 나타내었다.¹²⁾ 삽입금속에는 용접 강하 성분인 B가 3.0 wt% 함유되어 있고, 그 형상이 아몰퍼스인 되어있고 두께는 30 μm 이다.

브레이징 시험편의 조립은 Fig. 2에서와 같이 특수 제작된 그래파이트 지그에서 양 접합 시편 사이로 삽입금속과 함께 맞대기 이음방식으로 체결하였다. 이때 접합 시편에는 지그에 장착된 세라믹 스프링에 의해 0.8 MPa의 가압력이 가해지도록 설계 되었다.

Fig. 3은 본 연구에 사용된 고진공 브레이징 장비 (High-vacuum brazing furnace, Qualiflow Nara Tech Co.)

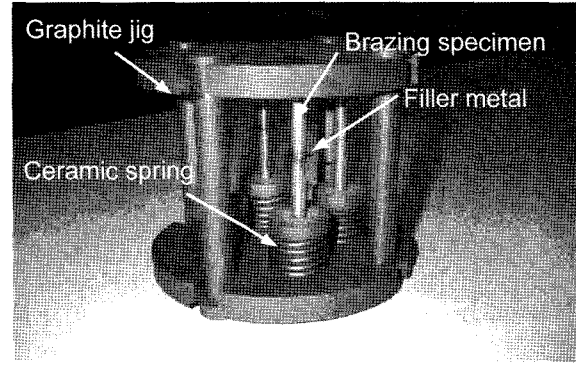


Fig. 2. Brazing fixture to prepare specimens.

의 외관 사진이다. 브레이징 공정은 1×10^{-4} Torr의 고진공 분위기 하에서 피크온도 1010 $^{\circ}\text{C}$, 가열시간 30 min. 조건에서 수행하였다.

브레이징 시험편의 기계적 성능 평가는 인장시험에 의해 평가하였고 사용한 인장시험편의 규격을 Fig. 1(c)에 나타내었다. 인장시험은 KS B0802 금속재료 시험 법에 준하여 수행하였고 각 조건별로 얻어진 5개 데이터에 대해 그 평균치를 인장강도 값으로 적용하였다. 접합 계면에서의 조직관찰은 광학현미경(Optical Microscope)과 주사 전자현미경(Scanning Electron Microscope)을 이용하였고, 계면반응 생성물에 대한 원소의 분석은 주사전자현미경에 장치된 파장 분산형 X-선 분광기(Wave Dispersive X-ray Spectrometer)를 사용하여 정성분석 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 브레이징 접합체의 인장강도평가 및 파괴특성

Fig. 4는 SUS304/BNi-2 브레이징 인장시험 결과를 나타낸 것이다. 브레이징 인장강도를 비교 평가하기 위하여 SUS304모재 및 SUS304열처리재의 인장강도도 함께 나타내었다. 열처리재의 경우 브레이징과 동일한 1010 $^{\circ}\text{C}$ /30 min. 조건에서 열처리를 하였다. 인장시험 후 브레이징 시험편의 파단은 모두 브레이징 층 중심부에서 일어났다. (Fig. 5. (c)) 인장시험 결과에서 SUS 304 모재 인

Table 1. Chemical compositions and tensile strength of base metal used

SUS304	Composition (wt-%)				Tensile Strength (MPa)	
	C	Cr	Ni	Fe	As received	After annealing(1050 $^{\circ}\text{C}$)
	0.08	18	8	Bal.	869	611

Table 2. Chemical compositions, melting temperature and brazing temperature range of filler metal used

BNi-2 FillerMetal (AWS)	Chemical Composition, wt%						Solidus, $^{\circ}\text{C}$	Liquidus, $^{\circ}\text{C}$	Brazing Temperature Range,
	Ni	Cr	B	Si	Fe	C			
	Bal.	7.0	3.0	4.5	3.0	0.05	971	999	1010 ~ 1177

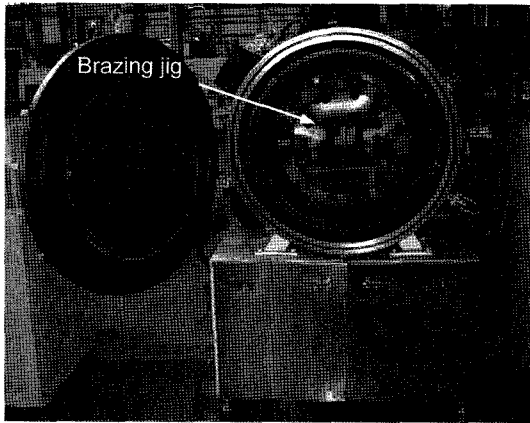


Fig. 3. A general view of the high vacuum brazing furnace.

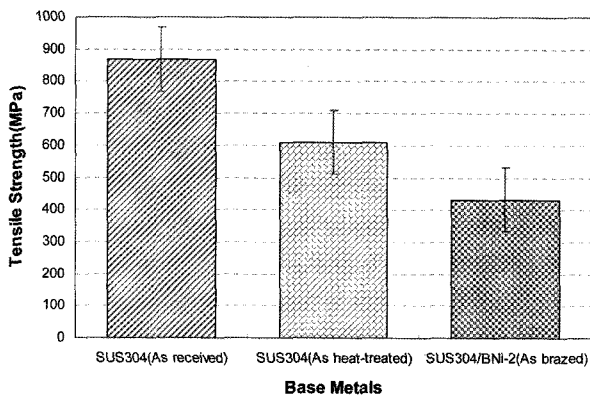


Fig. 4. Evaluating the tensile strength of brazed joints. The base metal is SUS 304 stainless steel brazed at a cycle of 1010°C/30 min, with a brazing force of 0.8 MPa.

장강도는 약 869 MPa이었으며, SUS 304열처리재는 약 611 MPa로서 모재 대비 약 30%의 인장강도가 감소되었다. 브레이징 인장강도는 약 432 MPa이 얻어졌는데, 이것은 모재의 50%, 열처리재의 70%에 각각 해당하는 강도 값이다.

본 실험에서 브레이징 인장파괴는 모두 브레이징층의 중심부(삽입금속층)에서 발생되었는데 브레이징에서 발생 가능한 일반적인 파괴형태와 각각 비교하였다.(Fig. 6) 브레이징 층에 외부응력이나 잔류응력이 가해지면 파면상에 상당한 소성변형이 발생되고 크게 5가지 일반적인 파괴형태가 발생될 수 있는데, (a)모재에서 파단, (b)브레이징 층 중심부(삽입금속 층)에서 파단, (c)모재/삽입금속의 접합계면 층에서 파단, (d)모재/삽입금속의 접합계면 층 및 삽입금속층에서 파단, (e)일부는 모재에서 또 일부는 삽입금속층에서 파단이 발생될 수 있다. 각각의 파괴형태에서 (a)는 브레이징 접합부가 조직학적으로 모재와 동등한 상태를 이룰 때 흔히 일어나는 파괴이고 접합부가 가장 강한 상태를 나타낸다. 보통은 (b), (d), 및 (e)와 같

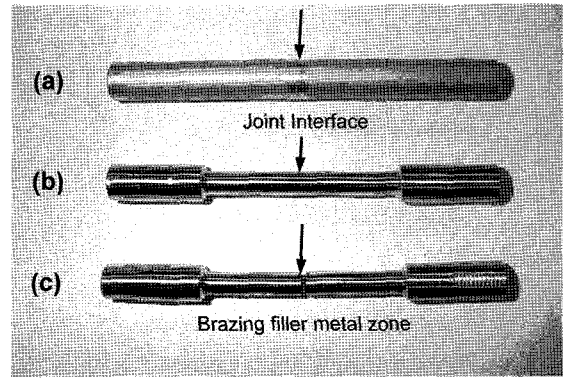


Fig. 5. Photographs of test specimen. (a) joint made by vacuum brazing, (b) tensile test specimen, and (c) after tensile test. (fractured brazing filler metal zone)

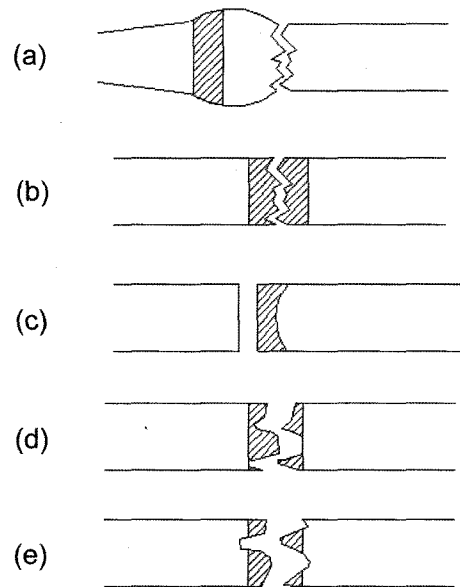


Fig. 6. Representation of some typical failure modes in tensile tests of brazed systems. (a) base metal, (b) brazing interlayer, (c) base metal/filler metal interface, (d) base metal/filler metal interface and brazing interlayer, and (e) base metal and interlayer.

은 파괴가 발생되는데, 특히 (e)의 형태는 브레이징이 상당히 양호하게 이루어진 때에 발생되며 비교적 높은 기계강도가 나타난다. 본 실험에서 나타난 (b)와 같은 파괴는 브레이징은 온전히 이루어졌지만 삽입금속의 자체 강도가 모재보다도 낮거나 브레이징 층에 다수의 보이드가 존재하는 경우에 흔히 발생하는 경우이다. Fig. 7은 브레이징 인장시험편의 SEM 파면사진을 나타낸 것이다. 파면 조직을 관찰하면 상온에서의 브레이징 파면이 미시적으로 취성파괴(brittle fracture) 형태를 띠고있으며 브레이징 삽입금속 층에서 초기 균열이 시작되어 입내 파괴형태로 균열이 전개된 것으로 보여진다. 이것은 브레이

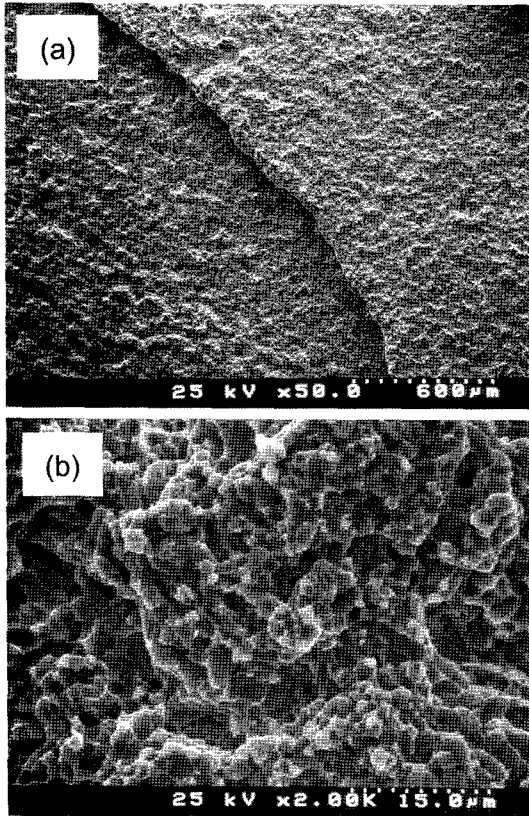


Fig. 7. SEM images of fracture surface after tensile test. The base metal is SUS 304 stainless steel brazed at a cycle of 1010°C/30 min, with a brazing force of 0.8 MPa. (a) low magnification, and (b) high magnification.

징 온도가 비교적 높아 용융삽입금속으로부터 일부 성분이 결정 입계로 편석되어 접합부가 상당히 불안정하여 본 실험에서도 결과적으로 낮은 인장강도와 취성파괴가 일어난 것으로 판단된다.^{5,10,15)}

3.2 브레이징 접합체의 미세조직 특성

Fig. 8에 SUS304/BNi-2 브레이징 계면에 대한 미세조직사진을 나타내었다. 브레이징 층에는 모재와 용융 삽입금속이 상호 반응하여 반응층이 생성되었으며 그 중심부에 다량의 검은 생성물들이 관찰된다. 또 모재의 양측에는 용융 삽입금속의 일부 성분이 입계 확산된 생성물들이 모재를 향하여 길게 뻗어져 있는 것이 관찰되었다.

SEM에 의한 브레이징 계면에서의 미세조직 사진과 계면 생성물에 대한 WDX 원소분석 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 브레이징층의 두께는 약 80 μm 정도로 상당히 두껍고 브레이징층 중심부에 발생된 검은 생성물의 길이는 약 20 μm 정도이다. 또 모재 양측에 생성한 반응층의 두께는 약 8 μm 정도이며, 브레이징층 중심부에는 검은 생성물 근처에서 미세균열이 계면을 따라서 발견되었다. 계면 생성물에 대한 WDX 분석결과, 검은 생성물

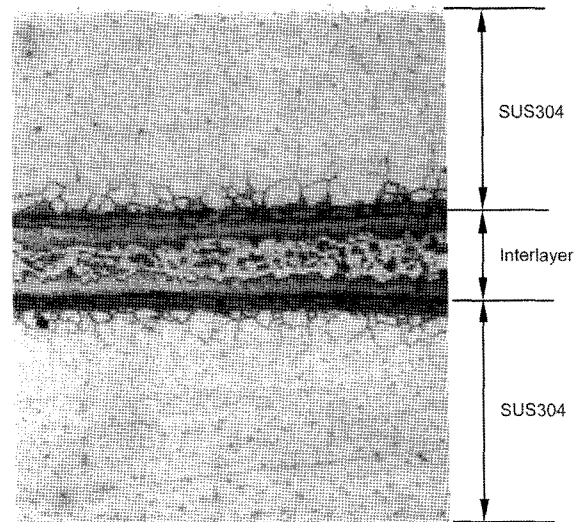


Fig. 8. Microstructure of joint brazed with BNi-2 filler metal. The base metal is SUS 304 stainless steel brazed at a cycle of 1010°C/30 min, with a brazing force of 0.8 MPa.

에서 모재의 Cr성분과 삽입금속의 용점 강하 성분인 B가 높게 피크 검출되었고, 모재 양측의 입계 생성물들에서도 각각 낮게 검출이 되었다. 이상의 분석결과로부터 브레이징층 및 입계에 존재하는 생성물들은 브레이징 과정에서 용융 삽입금속과 모재가 열역학적으로 상호 반응하여 발생된 Cr-B계 금속간 화합물인 것으로 판명되었다.^{13,14)} 모재 양측으로 길게 뻗은 검은 입계 생성물들에서도 삽입금속의 성분들이 검출되는 것은 브레이징 온도가 상승하는 것에 따라 삽입금속에서의 용점강하 성분들이 빠르게 모재로 확산된 것으로 보여진다. 본 실험에서 브레이징 인장강도가 아주 낮게 나타난 것은 브레이징 층에 생성된 이 같은 금속간 화합물의 영향 때문인 것으로 생각되며, 이것은 브레이징 접합부를 상당히 취약하게 만들어 기계적 성질에도 악영향을 미치는 것으로 현재 알려져 있다.^{6,11)} 결과적으로 브레이징 층에서 발생된 미세균열현상도 브레이징 층의 두께가 80 μm으로 아주 두껍고 조직 내에 취약한 금속간 화합물들이 성장하여 균열이 급격히 진행된 것으로 판단된다.⁶⁾ Hisamory의 연구보고에 따르면 이 같은 취약한 금속간화합물은 브레이징층의 두께가 20 μm 이하일때 그 성장이 억제 된다고 하였다.^{13,14)}

이상과 같이 Ni계 삽입금속에 의한 스테인리스강의 브레이징에서 삽입금속층의 취약한 조직을 연성으로 바뀌주는 것이 아주 중요하다고 생각되는데 접합부의 기계적 성질을 개선하기 위해서는 브레이징 공정뿐 아니라 삽입금속도 함께 고려가 되어야 한다고 생각한다. 먼저 브레이징 공정에서는 취약한 금속간 화합물이 삽입금속층에 생성되지 않도록 브레이징 두께를 아주 얇게 자제가

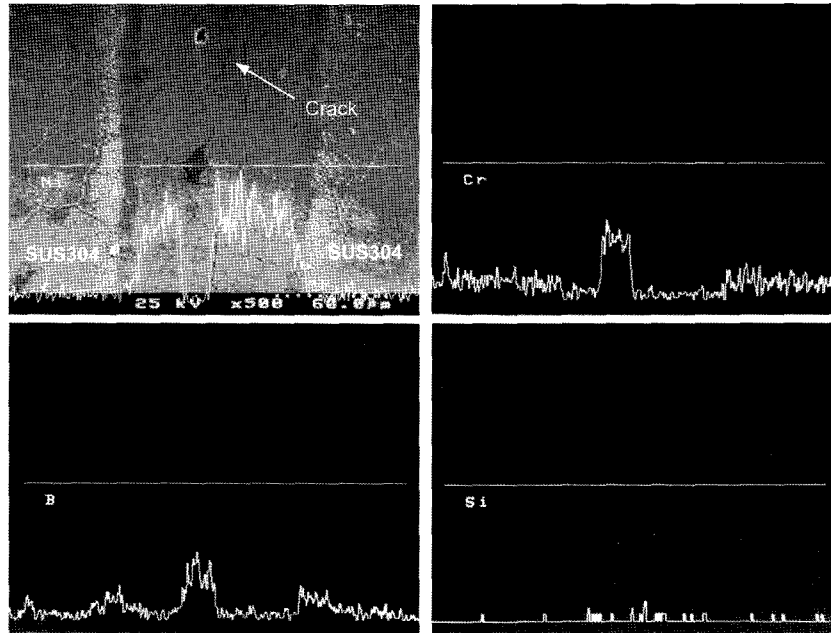


Fig. 9. The result of SEM/WDX analysis. The base metal is SUS 304 stainless steel brazed at a cycle of 1010°C/30 min, with a brazing force of 0.8 MPa.

거나^{13,14}), 생성된 화합물들을 모재로 모두 확산/소멸 시키기 위해 브레이징 시간을 아주 길게 하거나 또는, 브레이징 후나 과정에서 열처리를 하여 브레이징 기계적 강도를 향상시킬 수가 있다.^{6,8,10} 한편, 삽입금속에서는 취성의 주 원인이 되는 용점 강하 B 성분을 함유치 않거나^{9,15}), B성분이 낮게 함유된 삽입금속을 사용하는 것이 바람직하다 할 수 있다. 또 삽입금속의 형상도 브레이징 층의 두께 조절이 용이하고 보이드 발생이 기존의 분말상보다도 좋은 아몰퍼스 형태의 삽입금속을 사용하는 것이 좋다고 생각한다.⁵⁾

4. 결 론

본 연구에서는 Ni기 브레이징 삽입금속을 사용한 스테인리스강 접합체의 브레이징 강도를 평가하고 그 브레이징 특성에 대한 기초조사를 하였다. 브레이징층에는 삽입금속으로부터 용점강하 성분인 B가 취약한 Cr-B 금속간 화합물을 생성시켜 브레이징 기계 강도를 상당히 떨어뜨리는 주 원인이 되었다. 브레이징 공정에 있어서 취약해진 조직을 연성으로 바꾸어 이 같은 화합물의 생성을 제어하는 것이 브레이징 고품질 및 높은 접합 신뢰성을 확보하는데 있어서 아주 중요하다고 하겠다.

참 고 문 헌

1. T. Takemoto, J of Japan Welding Society, **61**(4), 67 (1992).
2. R. L. Peaslee, Welding J, **71**(10), 25 (1992).
3. D. L. Keller, M. M. McDonald, C. R. Heiple, W. L. Johns, and W. E. Hofmann, Welding J, **69**(10), 31 (1990).
4. M. D. Bellware, Welding J, **37**, 683 (1958).
5. A. Rabinkin, E. Wenski, and A. Ribaud, Welding J, **77**(2), 66 (1998).
6. E. Lugscheider, K. Klohn, and R. Lison, Welding J, **59**(10), 296 (1979).
7. T. Onzawa, A. Suzumura, and Y. Murata, J of Japan Welding Society, **4**(1), 187 (1986).
8. E. Lugscheider, and K. D. Partz, Welding J, **69**(6), 160 (1983).
9. E. Lugscheider, T. Cosack, Welding J, **67**(10), 215 (1988).
10. I. Kawakatsu, T. Osawa, and H. Saito, J of Inst. of Metals, **43**(11), 1001 (1979).
11. R. Johnson, Welding J, **60**(10), 185 (1981).
12. Brazing Manual, Third Edition, AWS Committee on Brazing and Soldering, American Welding Society, 45 (1975).
13. Y. Hisamory, H. Nishiura, and K. Machida, Transactions of JSME-Series A, **56**(523), 85 (1990).
14. Y. Hisamory, J. of Japan Welding Society, **10**(2), 3 (1992).
15. T. Watanabe, K. Ohhara, A. Yanagisawa, and S. Konuma, J of Japan Welding Society, **13**(3), 404 (1995).