기 술 보 고

대기 브레이징 개선용 플럭스 라미네이티드 합금

신 영 식·이 영 섭·이 지 환

Flux Laminated Alloy Improves Air Atmosphere Brazing

- An Innovative New Product Proves to be a Cost-Effective Means to Eliminate the Fluxing Step and Minimize the Brazing Cycle Time

Young-Sik Shin, Young-Sup Lee and Chi-Hwan Lee

1. 서 론

브레이징은 450℃ 이상의 용융점을 가진 브레이징 합금을 사용하여 접합하고자 하는 모재의 용융점 온도 이하에서 모재를 녹이지 않고 용가재만 녹여 피접합체를 접합하는 기술이다. 오늘날 급속한 산업발달 과정속에서 브레이징은 가장 널리 사용되는 금속접합 기술중 하나이다.

접합체를 설계하는 엔지니어가 선택할 수 있는 가열방법에는 토치, 로, 인덕션 그리고 전기저항에 의한 가열방법이 있다. 대기 중에서 양호한 브레이징 접합부를 얻기 위해서는, 모재 표면의 산화물을 제거해야만 한다. 플럭스를 사용하는것은 이 산화물을 제거하는 첫 번째 방법이고 또한, 산화물이 다시 형성되는 것을 방지한다[3].

진공 또는 보호분위기의 로 브레이징에서 플럭스는 불필요하다. 그러나 토치, 인덕션 또는 전기저항에 의한 가열을 이용하는 대기 브레이징 공정에서 플럭스가 필요하다. solid wire를 가지고 브레이징 시, 일반적으로 플럭스는 분말, 페이스트, 슬러리 또는 액상의 형태로 사용되고 있다[4-6]. 플럭스의 형태는 각각의 작업요구조건, 브레이징방법, 원가 및 편리성 등을 고려하여 선택된다. 일반적으로 solid wire를 사용 시에는 별도로 workpiece에 플럭스를 도포한다. 이 과정의 플럭스 주입(도포) 공정은 준비 시간과 비용을 늘리고, 환경문제를 증가시킬 것이다. 이러한 단계를 없애기 위해 많은 연구자들이 필러합금과 플럭스를 하나의 공정으로 제공하는 방법에 대한 연구를 수행해 왔다[7,8].

현재 플럭스 코어드, 플럭스 코티드 그리고 브레이징 페이스트 등이 사용되고 있다. (Fig. 1) 본 논문에서는 이러한 제품들과 더불어 새로운 플럭스 라미네이티드 브레이징 합금을 소개하고자 한다.

플럭스 라미네이티드 스트립은 플럭스와 wire를 하나의 product로 제공하는데, 비용과 공정시간을 단축시키면서도 양질의 접합부를 얻을 수 있다.(Fig. 2) 이러한 플럭스 라미네이티드 스트립의 개발과정과 더불어 타 브레이징 합금 재료와의 실험결과에 대해 논의하고자 한다.

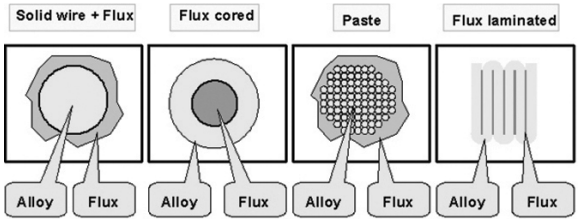

Fig. 1 Cross Section of brazing alloy with flux

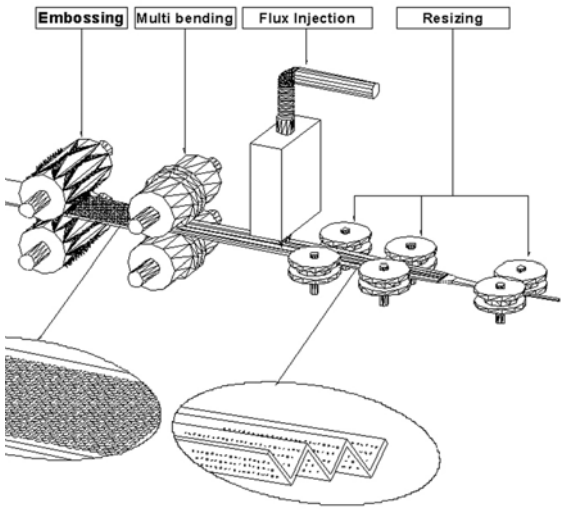

Fig. 2 Schematic manufacturing process for flux laminated brazing alloy

Development of Flux Laminated Strip

플럭스 라미네이티드 스트립은 그림에 보인 것과 같이 embossing, multi-bending, flux injection, resizing 단계를 거쳐 제조하였다.

Step I. Embossing process

첫 번째 단계로 보다 넓은 가열 표면적을 제공하기 위해 스트립에 embossing을 만들었다. embossing된 표면은 브레이징을 위한 가열 공정에 소요되는 열을 감소시킬 뿐만 아니라 이후 플럭스 주입시 중요한 역할을 한다.

Step II. Multi bending process

본 단계는 스트립에 플럭스 주입시에 필요한 홈을 제공하는 단계로 다단절곡 된다 다단절곡은 플럭스 주입시의 가이드 홈을 제공함과 더불어 최종 플럭스 라미네이티드 스트립 형상을 만들기 위한 기초 형상을 만든다

Step III. Flux injection

본 단계에서는 플럭스 주입기에 의해 엠보싱 및 다단절곡된 스트립에 플럭스를 주입하게 된다

Step IV. Resizing

Resizing 단계를 통해 사각 형상의 플럭스 라미네이티드 스트립이 제조된다.

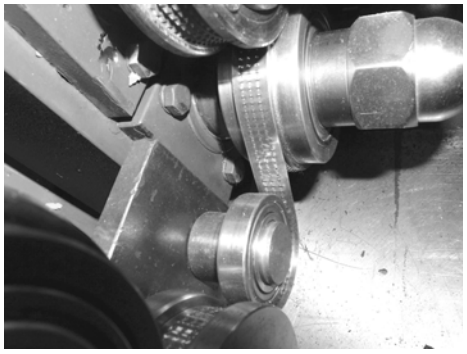

Fig. 3 Embossing process

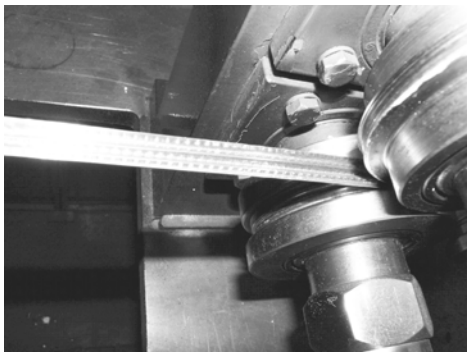

Fig. 4 Multi bending process

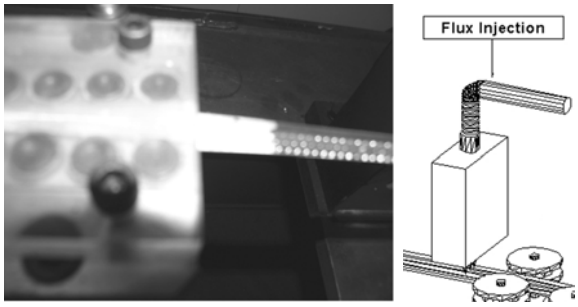

Fig. 5 Flux injection process

Fig. 6 Resizing process

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

지난 몇년동안의 연구를 통해 플럭스 라미네이티드 스트립의 개발을 완료하였고, 다른 브레이징 합금과 비교하여 우수한 특성을 갖는다는 것을 확인하였다.실험에 사용한 브레이징 합금으로는 solid wire + 플럭스, 플럭스 코어드 와이어, 브레이징 페이스트와 새로운 플럭스 라미네이티드 스트립이다. 브레이징 합금의 조성은 AWS BAg-7 브레이징 합금(56%Ag/22%Cu/17%Zn/5%Sn)을 사용하였고, 무게는 0.25g 으로 하였다. BAg-7 브레이징 합금은 618℃~652℃의 용융범위를 갖는 합금으로 브레이징 산업에서 가장 널리 사용되고 있는 재료 중에 하나이다. 그리고 플럭스는 AWS spec FB3A 브레이징 플럭스를 사용하였다.

접합모재로는 폭 50mm * 길이 50mm * 두께 1.2mm의 304스테인레스 스틸 판재를 사용하였다 브레이징 실험장비로는 digital torch kit를 사용하였는데, 그림 7-그림 8은 본 연구에 사용된 digital torch kit의 외관과 화염 세기 제어 원리를 나타내었다 그림 9는 브레이징 합금의 용융실험 전 후의 외관 모습을 나타내었다.

Fig. 7 View of digital torch kit

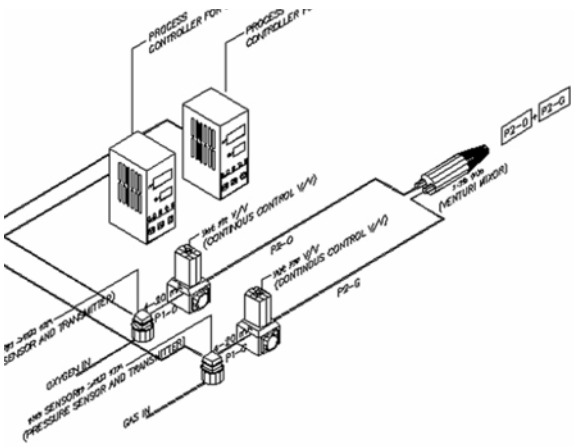

Fig. 8 Principle of auto pressure control

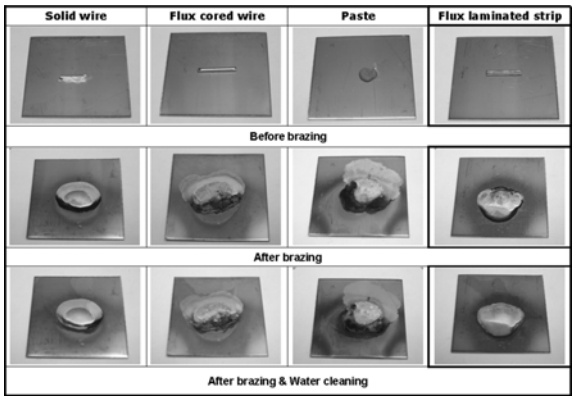

Fig. 9 Morphology of the specimens by torch brazing

2.2 실험방법

실험하는 동안 일정한 화염 조건을 얻기 위해 서경브레이징의 digital torch kit을 사용하였다. digital torch kit은 그림 7에 나타낸 것처럼 일정한 화염을 제공하고자 가스/산소 분압을 제어하기 위해PID 제어 방식을 사용한다. 균일한 화염은 실험에서의 신뢰성을 높일 수 있다. PID 방식에 의한 gas/산소 분압 제어의 원리를 그림 8에 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 균열의 발생거동

Melt test according to flux contents

플럭스 라미네이티드 스트립의 최적 플럭스 조성을 결정하기 위해서 그림 10에 나타낸 것처럼 라미네이티드 스트립에 2, 4, 6, 8, 10, 12% 의 플럭스를 첨가하여 플럭스 라미네이티드 스트립을 제조하여 용융실험을 하였다. 표 1은 wetting area와 spreadability를 보여준다. wetting area와 spreadability 분석은 image analyzer를 이용하였고, 다음식을 이용하여 계산하였다.

$$Spreadability = \frac{(S - S_0)}{S_0}$$

S: wetting area

S_0: filler area before melting

그림 11에서 보듯이 wetting area와 spreadability는 플럭스 첨가량과 함께 증가하는 경향을 나타내었다. 2% 플럭스 첨가 시에는 wetting area가 매우 작았으며 음의 spreadability를 나타내었다. wetting area와 spreadability는 플럭스 증가와 함께 현저하게 증가하였고, 6% 이상에서는 일정해지는 경향을 나타내었다.

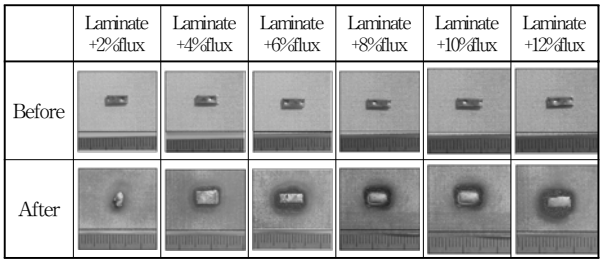

Fig. 10 Appearances of samples with various flux contents before & after wetting test

Table 1 Spreading area & rate with increasing flux contents

Flux content [%]	Filler area		Speradability
	after melting	before melting	
	$S[mm^2]$	$S_0[mm^2]$	$(S-S_0)/S_0$
2	12.1097	24.1756	-0.499092059
4	22.5679	20.3896	0.106835505
6	25.7037	19.7311	0.302697158
8	25.7997	20.2798	0.2721867
10	24.8628	20.1454	0.234169091
12	24.4513	19.7311	0.239223887

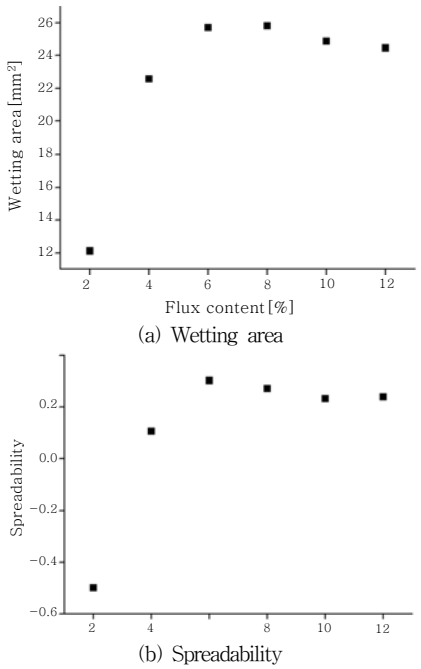

Fig. 11 Wetting area and spreadability according to flux contents

다음으로 플럭스 첨가량에 따른 브레이징 합금의 용융온도, 용융시간, 가열속도 및 플럭스 residue 양을 조사하였고, 그림 12에 그 결과를 나타내었다. 용융온도와 승온속도는 플럭스 첨가량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었고 (그림 12-(a), (c)), 약 6% 이상에서는 일정해지는 경향을 나타내었다. 반면에, 용융시간은 증가하는 경향을 나타내었다(그림 12-(b))

용융실험 후 fume & flux residue weight를 조사하였다. fume과 flux residue는 공기 및 수질 오염 발생원이 된다. 이들은 그림 12 (d), (e)에 나타낸 바와 같이 플럭스 첨가량과 함께 증가한다. 위와 같은 실험 결과로부터 플럭스 라미네이티드 스트립의 최적 플럭스 조성은 5 ~ 6 % 임을 알 수 있었다.

Melt test according to brazing alloy form

그림 13은 브레이징 합금 종류에 따른 플럭스 조성을 나타낸 것이다. solid wire, 플럭스 코어드 와이어는 각각 31.2%, 12.3%의 플럭스를 함유하고 있었다. 플럭스 라미네이티드 스트립의 경우 가장 적은 5.4%의 플럭스를 함유하고 있다. 반면에 브레이징 페이스트의 경우 가장 많은 33.2%의 플럭스를 함유하고 있었는데, 이것은 페이스트 내에는 플럭스 이외에도 바인더 성분도 함유되어 있기 때문이다.

각각의 브레이징 합금 시편들을 용융하여 평균 용융시간을 측정한 결과를 그림 14에 나타내었다. 브레이징 페이스트와 solid wire가 다른 합금보다 용융시간이 길

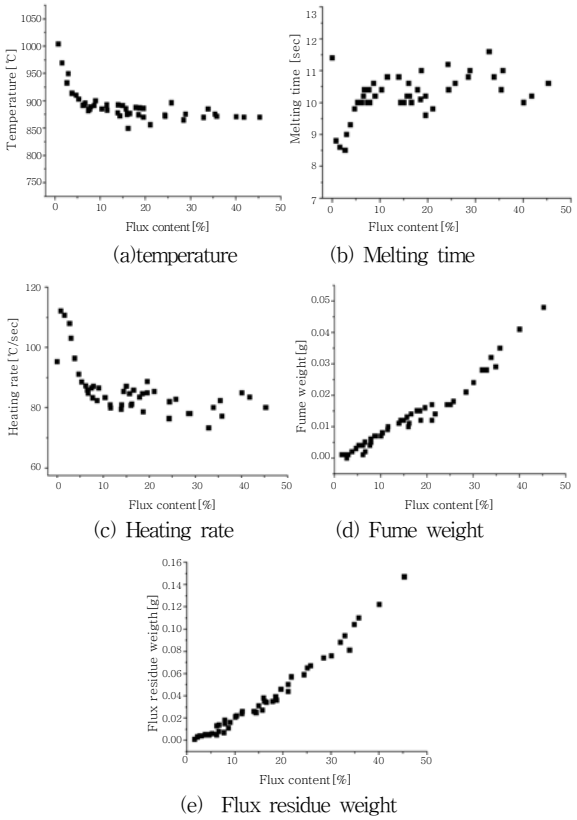

Fig. 12 Melt tests of flux laminated strip using various flux contents

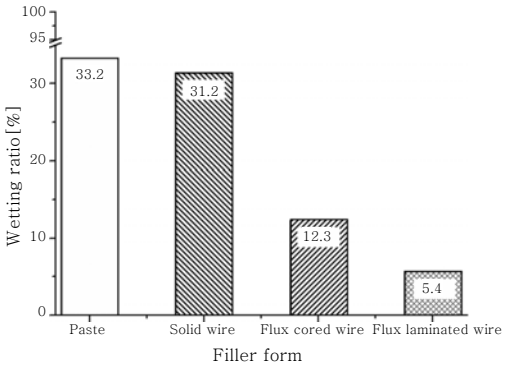

Fig. 13 Flux concentration for each brazing alloy form

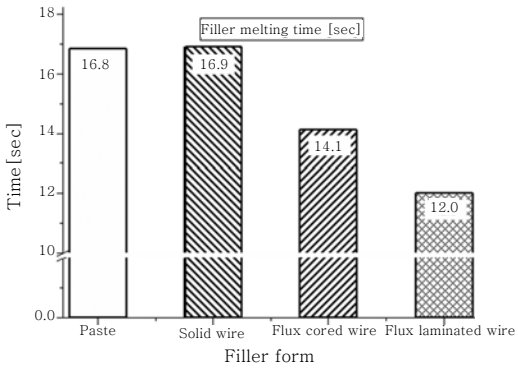

Fig. 14 Filler melting time

게 나타났다.

그림 15와 그림 16은 용융 실험 후 브레이징 합금 단위 무게당 발생한 fume과 플럭스 reisidue 량을 나타낸 것이다. fume 발생량은 용융실험 전 후의 시편 무게 차이로 측정하였다. 실험결과, 플럭스 라미네이티드 스트립이 다른 브레이징 합금보다 훨씬 더 적은 fume을 발생하는 것을 알 수 있었고 브레이징 페이스트는 가장 많은 량의 fume을 발생하였다. 이것은 합금 내에 있는 바인더 성분의 증발에 기인한 것으로 판단된다.

그림 17은 브레이징 합금의 용융 실험 후 잔류 플럭스 세척에 소요된 물의 량을 나타낸 것이다. 이 때 사용한 물의 온도는 45℃였다. solid wire의 경우 다른 합금보다 훨씬 더 많은 량의 물을 필요로 하였다. 이것은 실제 solid wire가 가장 많은 량의 플럭스 residue (31.2%)를 함유하고 있기 때문에 용융실험 후 가장 많은 량의 플럭스 residue를 남기고 이를 제거하는데 다량의 물이 소요된 것으로 판단된다.

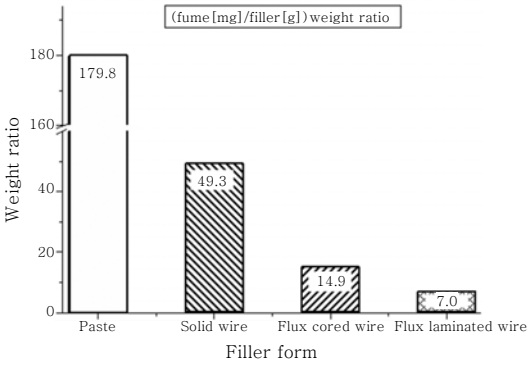

Fig. 15 Fume/Filler weight ratio

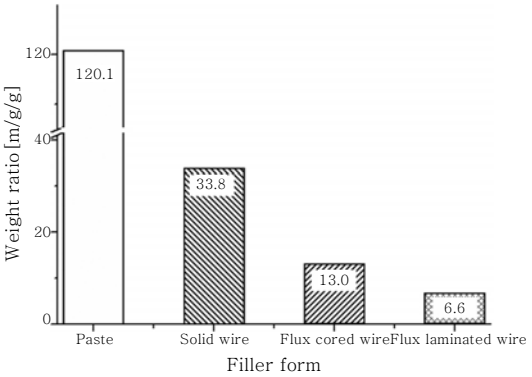

Fig. 16 Fume/(Filler+Flux) weight ratio

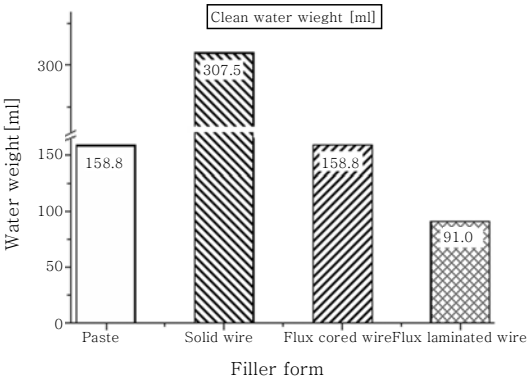

Fig. 17 Cleaning water weight

이전의 브레이징 합금(solid wire, 플럭스 코어드 와이어, 브레이징 페이스트)과 플럭스 라미네이티드 합금의 브레이징 특성을 조사하고자 동 튜브와 황동nipple 조인트, steel 튜브와 구리 튜브 조인트의 브레이징 실험을 행하였고 그림 18, 그림 19에 그 결과를 나타내었다. 결과에서 보듯이 플럭스 라미네이티드 스트립을 이용한 조인트가 가장 적은량의 플럭스 residue를 남기고 청정한 접합부를 나타내고 있다.

그림 20은 steel 튜브와 동 튜브 조인트의 접합부 미세조직을 나타낸 것이다. 모든 접합부에서 건전한 접합부를 형성하고 있는 것을 보여주고 있다. solid wire와 브레이징 페이스트의 경우 접합계면부에서 큰 pore와 많은 defect들이 관찰되고 있다. 이러한 pore와 defect들은 조인트의 기계적 특성 저하를 초래한다. 반면에, 플럭스 코어드 와이어와 플럭스 라미네이티드 스트립의 경우 접합 계면부에서 비교적 작은 pore만이 관찰되었다. 플럭스 라미네이티드 스트립은 플럭스 코어드 와이어와 비교해서 보다 빨리 용융되면서도 양호한 접합부를 형성하는 것으로 판단된다.

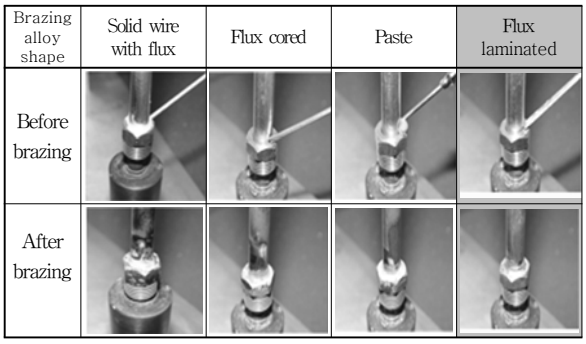

Fig. 18 Brazing test with copper tube to brass nipple

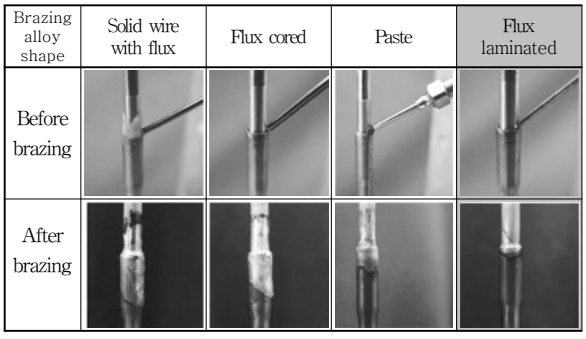

Fig. 19 Brazing test with steel tube to copper tube

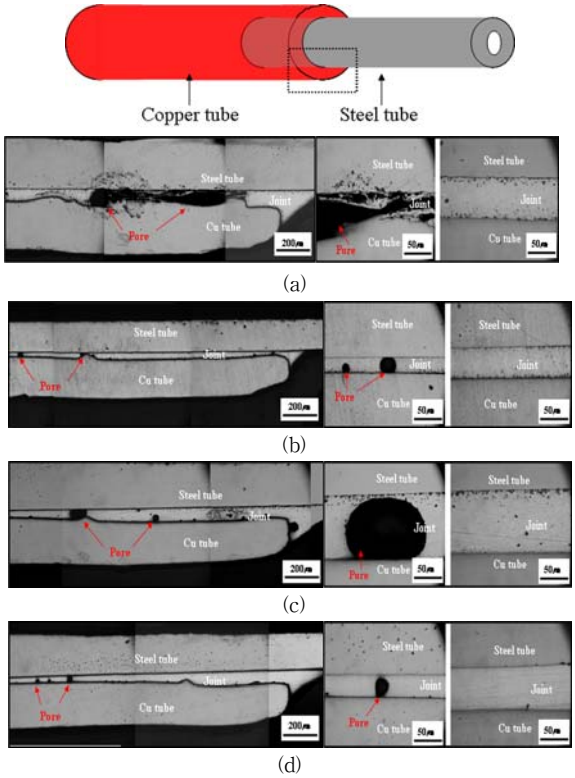

Fig. 20 Microstructures of the steel & copper tube joint brazed at 750℃, using a propane/oxygen mixed gas flame with; (a) solid wire, (b) flux cored wire, (c) paste and (d) flux laminated strip

4. 결 론

본 연구에서는 플럭스와 합금을 하나의 형태로 제공할 수 있는 플럭스 라미네이티드 스트립을 개발하였다. 실험 결과로부터 플럭스 라미네이티드 스트립이 많은 장점을 가지고 있는 것을 알 수 있었다. 플럭스 라미네이티드 스트립은 과잉의 플럭스를 사용하지 않으면서도 양질의 조인트를 얻을 수 있다. 또한, fume 발생량과 세척 비용을 감소시킬 수 있다. 결론적으로, 플럭스 라미네이티드 브레이징 합금은 일반적인 대기 브레이징 공정에 널리 사용될 수 있다.

참 고 문 헌

1. G. Humpston and D. M. Jacobson : Principles of Soldering and Brazing, ASM International, 2001
2. M. Schwartz : Brazing: For the Engineering Technologist, Chapman & Hall, 1995
3. M. G. Nicholas : Joining Process, Kluwer Academic Publishers, 1998
4. AWS Committeeon Brazing and Soldering : Brazing Handbook fourth edition, AWS, 1991
5. Handy and Harman : Brazing Book, 2002
6. Mel M. Schwartz : Brazing, ASM International, 1990
7. F. Danhiel : Flux-Cored Filler Rods for Torch Welding, Welding Journal, Apr. (1947)
8. T. Schindler : Evaluating E71T-11 Flux Cored Electrodes for Structural Carbon Steel Applications, Welding Journal, May. (1992)

• 신영식(申榮植)
• 1960년생
• 서경브레이징
• 금속 접합 자동화 및 응용기술
• e-mail : skb984@unitel.co.kr

• 이지환(李智煥)
• 1952년생
• 인하대학교 신소재공학부 교수
• 금속/금속, 금속/세라믹 이종재료 접합
• e-mail : inhalee@inha.ac.kr

• 이영섭(李永聶)
• 1975년생
• 인하대학교 금속공학과
• 금속/금속 이종재료 접합
• e-mail : yslee0815@yahoo.co.kr