

A357을 이용한 알루미늄 반응고 브레이징 접합 계면 특성

이상용[#]

Microstructures of Bonding Interfaces after Semi-Solid Brazing of Aluminum Using A357 as a Filler Metal

S. Y. Lee

(Received November 2, 2012 / Revised November 19, 2012 / Accepted November 22, 2012)

Abstract

Aluminum brazing normally requires a careful control of temperature due to the small interval between brazing and melting temperatures for base materials. Unsuitable processing conditions, including brazing temperature outside admissible range, gap between brazed materials or inadequate flux feeding, can lead to joining defects. In this study, A357 was used as a filler metal for the brazing of pure aluminum base materials and brazed at temperatures in the semi-solid state. Interface microstructures with base materials were observed using optical metallography(OM) and scanning electron microscopy(SEM) with energy dispersive spectroscopy(EDS), and compared to conventional aluminum brazing.

Key Words : A357, Aluminum, Semi-Solid Brazing, Interface, Microstructure

1. 서 론

알루미늄 브레이징(brazing)은 높은 비강도, 뛰어난 내식성, 우수한 열전도성 등의 특성으로 열교환기를 위시하여 콘덴서, 증발기, 히트코어 및 IT 분야의 방열기 제조에 많이 적용되는 제조공정이다. 알루미늄 브레이징 공법은 플럭스(flux)를 사용하는 방법과 사용하지 않는 방법으로 크게 나눌 수 있다. 플럭스를 사용하거나 또는 사용하지 않거나, 기존의 브레이징은 용가재(filler metal)를 용융시켜 고체 상태의 모재를 접합 시키는 방법으로서 철저한 온도 및 공정 관리가 이루어지지 않으면 산화물 같은 작은 결함뿐만 아니라 기공과 같은 품질에 지대한 영향을 주는 큰 결함의 발생이 쉽게 발생할 수 있는 접합 방법이다[1, 2].

본 연구에서는 기공과 같은 브레이징 결함 발생을 원천적으로 방지 할 수 있도록 용가재를 완전 용융 시키지 않고 반쯤 용융된 상태, 소위 반

응고 상태에서 브레이징하는 방법을 개발하고자 하였다. 용가재의 반응고 상태에서 브레이징 하면 반응고 성형법의 장점인 결함 감소와 접합 강도의 향상이 가능할 것으로 예상된다[3~5]. 그러나 반응고 브레이징 기술에 대한 연구는 거의 알려지지 않고 있으며 반응고 접합의 적절한 시스템 및 접합부의 미세조직의 특성 등에 대한 자료가 전혀 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 일반적인 알루미늄 브레이징에 사용되는 공정조성의 4007 (Al-11%Si) 합금 대신에 충분한 온도범위의 응고구역을 가지며, 지금까지 알루미늄 반응고 성형 기술 개발에 가장 흔하게 적용되고 있는 A357 (Al-7%Si) 을 용가재로 사용하여 반응고 브레이징 실험을 수행하였다. 이 과정에서 알루미늄 반응고 브레이징을 효과적으로 실험할 수 있는 접합시스템을 연구하고, 고안된 접합시스템을 이용하여 알루미늄 모재에 대해 반응고 브레이징 접합을 수행한 후, 접합부 및 접합 계면부의 조직 및 접합

[#] Corresponding Author : Dept. of Advanced Materials Engineering, Andong National University, E-mail: sylee@andong.ac.kr

특성 관찰을 통해 반응고 브레이징 법의 가능성을 판단하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 모재 및 용가재의 선정과 가열장치

알루미늄의 브레이징 온도는 약 600℃ 부근으로 모재의 고상선 온도를 넘지 않는 낮은 고상선 온도를 가지며 반응고 상태의 온도로 가열하고 유지하기 위한 반응고 온도 영역을 가지는 알루미늄 합금의 선택이 필요하다. 본 연구에서는 반응고 브레이징을 위한 모재로 순수 알루미늄을 사용하였다. 용가재로는 알루미늄 반응고 부품 성형 기술 개발에 많이 사용되어 반응고 상태에서의 미세조직과 온도제어 조건 등이 잘 알려진 A357(Al-7wt.%Si) 알루미늄 합금을 사용하였다. 모재의 경우 순수 알루미늄 피를 사용하였으며 용가재로 사용된 A357은 직경 30mm의 봉재를 활용하여 실험에 필요한 크기 및 형상으로 가공하여 사용하였다. 반응고 브레이징을 위해서 모재인 알루미늄과 용가재인 A357 합금을 상온에서 590~600℃ 정도의 온도로 약 3~5분 내에 균일 가열이 가능하고 가열된 온도에서 30분 정도까지 유지시간의 제어가 가능하도록 10kW-1kHz의 성능을 나타내는 고주파 유도 가열 장치를 사용하였다

2.2 반응고 브레이징 시편의 형상

반응고 브레이징 실험을 효과적으로 수행하기 위해 모재 및 용가재 시편의 형상을 두 개의 형태로 달리하여 실험하였다. 첫 번째 시편의 형상(model 1)과 이 시편을 이용한 유도가열, 모재의 가압 및 용가재의 압축을 통한 브레이징 접합 과정은 Fig. 1에 나타내었다. 유도 가열기의 코일 크기는 안쪽 지름이 약 35mm로 양 모재와 용가재의 크기가 코일보다 작은 치수여야 한다. 따라서 모재와 용가재의 폭은 각각 10mm로 하여 코일 내에 설치하였다. 첫 번째 시편의 형상(model 1)으로는 Fig. 1의 왼쪽 그림과 같이 용가재(A357)를 반응고 상태가 되는 온도영역인 590~600℃로 가열한 후, 온도가 유지되는 상태에서 Fig. 1의 중간 그림에서와 같이 모재의 양쪽에 압력을 가하여 Fig. 1의 오른쪽 그림과 같이 용가재가 압축된 상태에서 약 10분간 유지하여 알루미늄 모재와 A357 용가재의 반응고 브레이징 접합이 일어나도

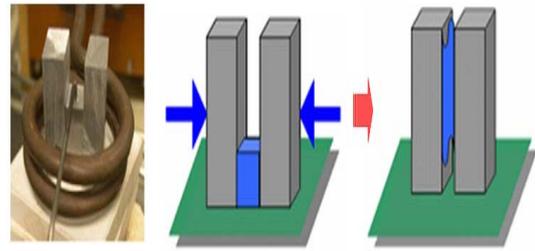


Fig. 1 Appearance of base and filler metal (model 1) and semi-solid brazing using high frequency induction heating

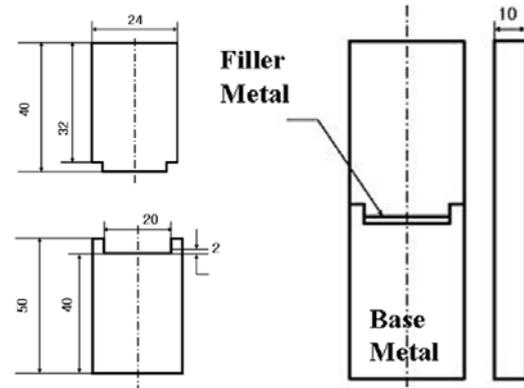


Fig. 2 Appearance of base and filler metal(model 2)

록 하였다. 첫 번째 시편의 형상(model 1)으로는 압축률(용가재의 폭변화율)을 50%와 75%로 변화시켜 반응고 브레이징 접합 계면의 미세조직을 비교하는 실험과 75%의 일정한 압축률에서 압축 시작 후의 유지시간을 5초, 1분, 10분, 30분으로 변화시켜 유지시간이 반응고 브레이징 접합 계면의 미세조직 상태를 비교하는 실험을 각각 수행하였다. 이 방법에서 압축은 유도가열 중에 균일한 압축이 가해질 수 있는 도구를 이용하여 수작업으로 진행하였다. 또한 압축률은 계산된 거리를 맞추는 간단한 도구를 모재 사이에 설치하여 제어하였다. 모델 1에서 접합 후의 냉각은 공냉 되도록 하였다.

Fig. 2에는 두 번째 시편의 형상(model 2)을 보여주고 있다. 반응고 브레이징 접합시 발생하는 기공을 최대한 억제하고 용가재의 압축이 더 균일하게 일어나도록 고안되었다. 볼록형 모재와 오목형 모재 사이에 용가재를 삽입시켜 유도 가열

하고 프레스를 이용하여 일정한 압력으로 반응고 브레이징 접합이 이루어지도록 하였다. 여기서 용가제는 반응고 상태이기 때문에 압력의 정량적인 크기는 중요하지 않다. 예를 들면 사람의 손으로도 변형이 가해질 수 있는 상태라고 보면 된다. 중요한 것은 프레스를 이용하여 일정한 속도로 넓은 면적에 가능한 균일하게 압력을 가하고자 하였다. 모재(Al)의 길이는 40mm, 두께는 10mm로 하고 볼록형 모재의 볼록 부위의 길이를 달리 함으로써 접합 두께를 설정할 수 있다. 용가제(A357)의 크기는 오목형 모재의 오목 부위에 정확히 삽입될 수 있는 크기로 제작되었고 두께는 10mm, 높이는 20mm로 설정하였다. 모재 사이에 용가제를 넣고 유도 가열에 의해 용가제를 반응고 영역으로 가열 시킨 다음, 프레스를 이용하여 압력을 가해 반응고 브레이징이 이루어지도록 하였다. Fig. 2의 두 번째 시편 형상(model 2)를 이용한 실험은 Fig. 1과 동일한 가열 조건으로 가열하고, 압축 후의 접합 유지시간은 1분으로 일정하게 하였다. 모델 1은 수작업으로 압축률의 변화와 유지시간의 변화에서 접합계면의 두드러진 특징을 관찰하고자 하였고 모델 2를 이용해서는 프레스를 이용한 균일한 압축 상태의 접합계면의 상태를 관찰하는 것이 목적이었다. 두 가지 모델을 이용하여 수행된 반응고 브레이징 접합 시편의 미세조직은 광학현미경 및 SEM/EDS로 관찰하였다. 또한 본 연구에서는 비교를 위해 기존의 브레이징 방법이 적용된 상용 알루미늄 열교환기 부품의 접합부를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기존의 알루미늄 브레이징 조직

Fig. 3에는 전통적인 브레이징 방법으로 접합된 알루미늄 열교환기 부품의 브레이징 접합부에 대한 미세조직을 보여 주고 있다. (a)와 (b)는 확대 관찰된 미세조직 부위를 나타낸다. 여기서 모재는 순수 알루미늄이며 용가제로는 알루미늄 브레이징에 가장 많이 사용되는 4047 알루미늄 합금이 사용되었다. 4047 합금은 Si이 11~13 wt.% 정도 함유되어 공정 조성에 해당되며 용점이 약 577℃이다. 4047을 이용한 브레이징은 약 600℃에서 수행되는 것으로 알려져 있다. 그림에서 나타났듯이 완전히 용융된 후 응고되는 용가제가 많은 기공을 함유하고 있다. 여러 개의 샘플 분석에서 건전

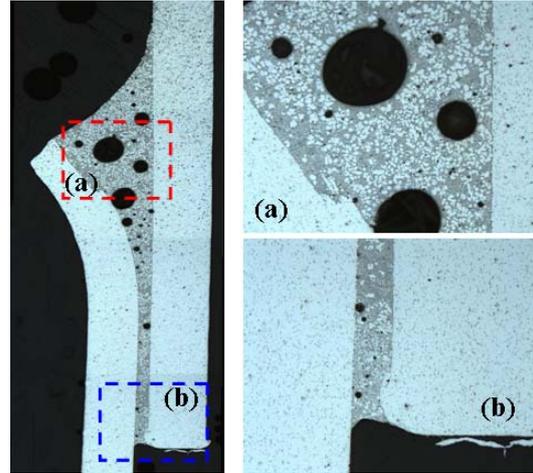


Fig. 3 Microstructures of joining part of aluminum heat exchanger after conventional brazing using 4047 aluminum alloy as a filler metal

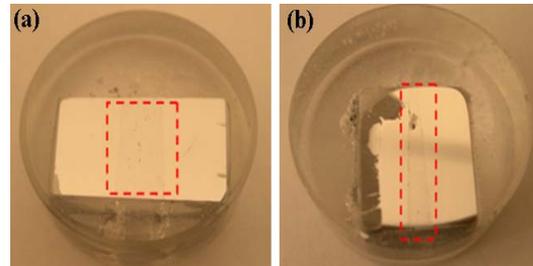


Fig. 4 Appearance of joining surfaces after semi-solid brazing according to upsetting ratio: (a) 50%, (b) 75%

한 브레이징 접합도 관찰되었지만 기공결함이 발생하는 확률도 매우 높았다. 기공의 발생은 물론 불량한 공정제어로 발생하겠지만 용융되는 용가제를 이용하는 브레이징 공정에서는 흔히 발생할 수 있는 결함이기도 하다. 이와 같은 결함은 당연히 불량한 브레이징 부품의 접합강도로 나타나게 된다.

3.2 Model 1 시편의 반응고 브레이징

Fig. 4는 Fig. 1과 같은 방법을 사용하여 압축률을 50%와 75%로 달리하여 수행된 반응고 브레이징 접합 시편을 폴리싱 한 후의 외관을 보여주고 있다. 점선으로 표시한 부위가 접합 부위이며 압축률의 차이를 나타내고 있다. 육안관찰에서 접합은 전체적으로 양호한 상태로 보인다.

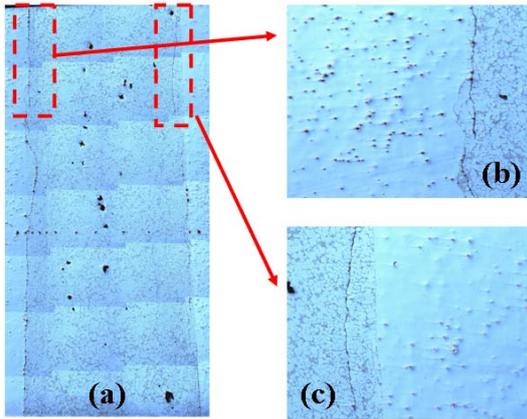


Fig. 5 Microstructures of joining surface after semi-solid brazing using an upsetting ratio of 50%

Fig. 5 에는 압축률이 50%인 실험에서의 시편 접합 부위의 대부분을 100 배의 배율로 광학현미경으로 촬영하여 조합한 미세조직 이미지를 나타내었다. Fig. 5에서 (a), (b), (c)로 표기된 부위가 용가재인 A357의 미세조직이며 순수 알루미늄의 미세조직인 모재 부위와 구별된다. Fig. 5 (a)에서 볼 수 있는 바와 같이 용가재와 모재의 접합 계면의 대부분은 미세한 경계 부위의 흔적이 남아 있다. 약 590℃의 가열 및 유지 온도에서 압축력으로 인한 계면 부위 마찰 및 변형과 압축 후에 약 10 분 간의 유지 시간으로 알루미늄 산화막이 부분적으로 파괴되고 확산이 일어나는 반응고 접합이 일어난 것으로 판단된다. Fig. 5 (c)에서 산화막으로 추정되는 검은 경계 부위를 넘어서 용가재(A357)와 모재(pure Al)가 완전하게 접합이 된 것을 확인 할 수 있었다. 또한 대기 중의 실험임에도 불구하고 기공과 같은 결함은 나타나지 않았다. Fig. 5 (a)에 나타나는 검은 점들은 고배율 관찰에서 기공이 아니라 과에칭에 의한 흔적인 것으로 판명되었다.

Fig. 6 은 압축률이 75%인 실험에서의 시편의 접합 부위 미세조직을 보여주고 있다. Fig. 6 (a)의 좌측 상부의 검은 부분은 에칭과정에서 발생한 얼룩으로 Fig. 3 에서 볼 수 있는 기공과는 다르다. Fig. 6 에서 (a), (b), (c)로 표기된 위치가 용가재인 A357의 미세조직으로 순수 알루미늄의 미세조직인 모재 부위와 뚜렷이 구별된다. 압축률이 높아진 실험에서 접합부위의 폭이 일정하지 않아 압축이 균일하게 일어나지 않았음을 알 수 있다. 이와 같은 현상을 시정하기 위해 두 번째 시편 형상(model 2)이 고안되기도 하였다. 부위에 따라 균

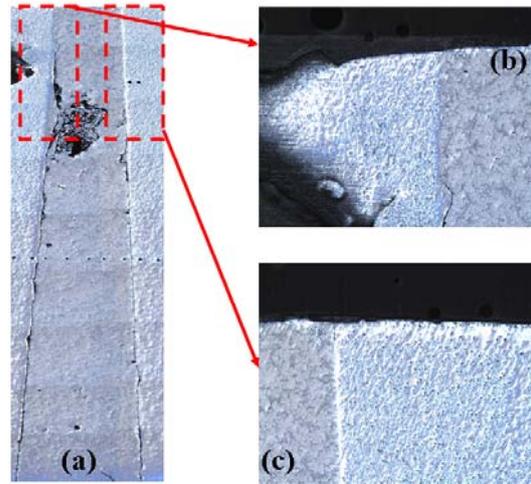


Fig. 6 Microstructures of joining surface after semi-solid brazing using an upsetting ratio of 75%

일하지 않은 압축으로 인한 차이가 나타났지만 Fig. 6 (b), (c)에서 볼 수 있듯이 압축이 심한 부위에서 반응고 브레이징 접합부의 미세조직 상태는 뚜렷하게 개선 되었음을 알 수 있다. 본 실험이 수작업으로 진행되었고 플럭스 또는 분위기(진공/개스 등)가 사용되지 않았음을 고려할 때 앞으로 효과적인 시편 전처리 기술과 적절한 분위기 개스를 적용하고 압축-마찰-변형 등의 조건을 더 정밀하게 제어한다면 더 우수한 접합이 가능한 방법이 될 것으로 예상된다.

Fig. 7 에는 압축률이 50%인 실험에서 모재와 용가재를 용가재인 A357의 반응고 상태 온도인 590℃로 약 3 분 이내로 가열하고 모재에 압축력을 가한 후 모재와 반응고 상태의 용가재의 브레이징 접합을 위해 유지하고 있는 시간을 다르게 했을 때의 접합부의 미세조직을 비교하였다. 결과적으로 주어진 유지 시간의 변화에서 접합 특성의 차이는 뚜렷하게 나타나지 않았다. 그러나 유지시간의 증가에 따라 용가재인 A357 부위의 입자 크기는 증가하는 양상을 보였다.

Fig. 8 에는 반응고 브레이징 실험에서 흔히 나타나는 기공형태의 결함부위에 대해 EPMA를 이용한 성분 분포 이미지를 나타내었다. 기공의 왼쪽 가장자리에서 Al과 Zn의 뚜렷한 변화는 없지만 O, Si, Mg의 증가가 뚜렷이 관찰되고 서로 상관관계가 있는 형태로 나타나고 있다. 그러나 이 기공이 알루미늄 산화막과 관계가 있는지는 분명하지 않다.

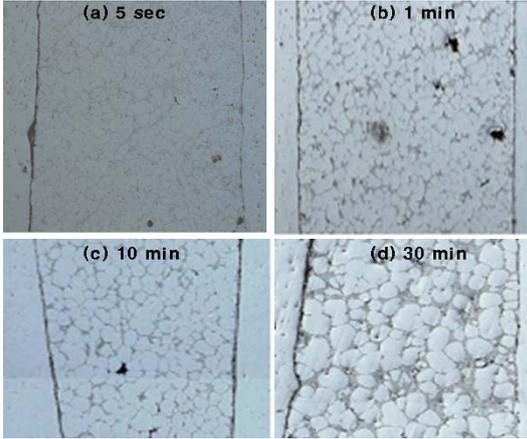


Fig. 7 Microstructures of joining surface after semi-solid brazing according to holding time at 590°C

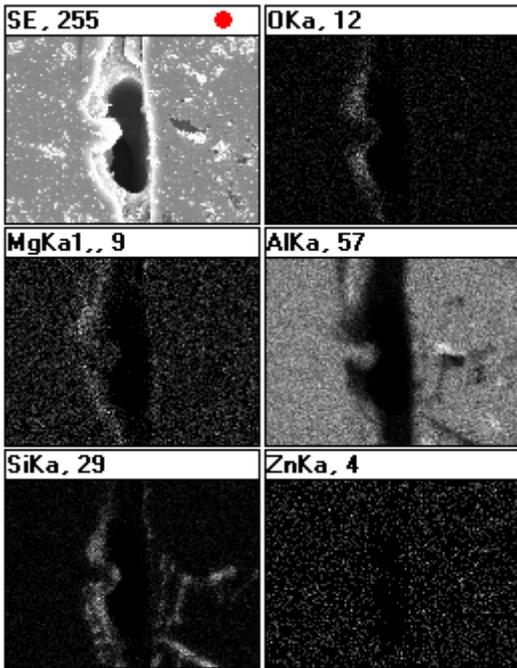


Fig. 8 EPMA mapping image of joining defect area after semi-solid brazing at 590°C

3.3 Model 2 시편의 반응고 브레이징

Model 1 시편을 이용한 반응고 브레이징 실험에서 접합면의 상태가 고르지 못하고 두께가 일정하게 나타나지 않은 문제점을 개선하기 위해 고안된 형태가 Fig. 2에서 설명된 model 2 형태의 시

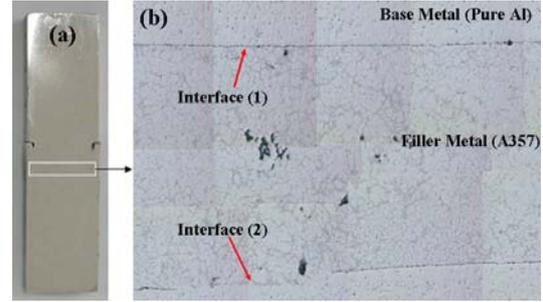


Fig. 9 Microstructures of joining surface after semi-solid brazing using the model-2 specimen

편 형상이며 이 형상의 모재 및 용가재 시편으로 실험된 반응고 브레이징 접합부의 미세조직 특징은 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9(a)는 반응고 브레이징 접합이 완료된 후 미세조직 관찰을 위해 표면 연마된 상태의 시편 모습을 보여주고 있고 Fig. 9(b)에는 접합부위를 100배의 배율로 촬영한 후 조합한 전체 이미지를 보여주고 있다. 590°C까지 가열하여 용가재를 반응고 상태로 만든 후 상부 모재에 프레스를 이용하여 균일한 압력을 가해 접합하고 대기 중에서 1시간 정도 서냉 하였다. 상부에서 3.5kg의 힘을 가하였으며, 용가재의 압축률은 약 75%였다. 접합을 위한 유지 시간은 1분이었다.

짧은 가열 및 유지시간을 주었음에도 불구하고 model 1을 이용한 실험에서 보다 우수한 접합부의 미세조직을 관찰할 수 있었다. Fig. 9(b)에 화살표로 표시한 상부 계면(interface 1)은 불완전한 접합부의 특징을 보여주고 있으며 Fig. 10에 확대된 미세조직을 나타내었다. 반면 하부 계면(interface 2)은 완전한 접합이 이루어진 부위를 표시하고 있으며 Fig. 11에 여러 배율로 확대된 미세조직을 나타내었다. 용가재인 A357 알루미늄 합금의 전형적인 반응고 상태의 미세조직을 나타내며, 또한 알루미늄 모재와의 접합 계면이 뚜렷하다.

앞에 설명된 실험 결과의 사례에서 볼 수 있듯이 대기 중에서 플럭스를 사용하지 않은 상태에서 수행한 반응고 브레이징이 완전히 용융된 용가재를 사용하는 전통적인 브레이징 보다 기공과 같은 내부 결함이 발생할 확률은 크게 감소함을 알 수 있다. 이는 용융되지 않는 용가재를 사용하는 분명한 장점이다. 또한 반응고 브레이징에서는 플럭스가 필요하지 않은 관점에서는 경제성이 더 우수하다. 물론 반응고 브레이징에서 접합 계면의

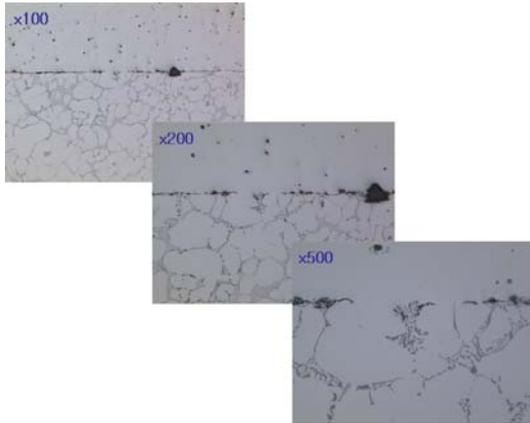


Fig.10 Microstructures of interface 1 in fig. 9(b)

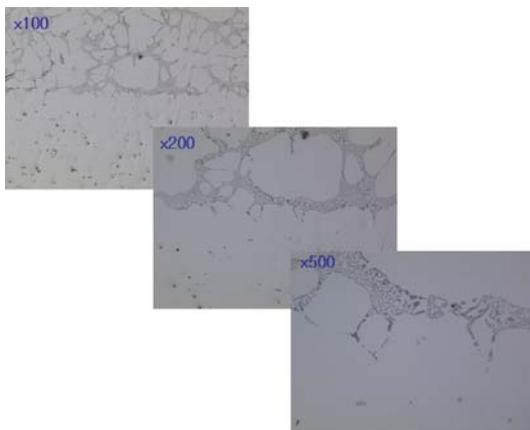


Fig.11 Microstructures of interface 2 in fig. 9(b)

특성을 향상시키고 용가제의 형상 및 조건이 실제 부품에서도 효과적으로 적용이 가능할 수 있도록 추가 연구와 개발이 필요하지만 반응고 브레이징 법의 실용화는 가능성이 있는 것으로 판단된다.

4. 결 론

반응고 성형법에 가장 많이 적용되는 알루미늄 합금인 A357 을 순수 알루미늄의 브레이징 접합에 적용하는 반응고 브레이징 법이 처음으로 시도되었다. 브레이징 온도를 용가제인 A357 알루미늄 합금을 반응고 상태로 만드는 온도 범위인 590~600℃로 가열 한 후 두 가지 형태의 접합 시스템을 사용하여 브레이징 접합을 하였으며 접합 면의 미세조직 관찰을 수행하였다. 대기 중에서 플럭스를 사용하지 않으면서 수행된 점, 확립되지 않은 접합 시스템을 적용한 점 과 짧은 가열 및 유지시간을 적용한 점 등을 고려 할 때 부분적인 접합 계면에서 불완전 접합이 나타나기는 하였지만 기공과 같은 큰 결함이 발생하지 않는 건전한 접합 계면을 얻을 수 있는 가능성을 관찰할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] J. P. Jung, C. S. Kang, Y. J. Park, S. H. Hang, 1994, Brazing technology and trend in Japan(1), J. Korean Welding Soc., Vol. 12, No.4, pp. 50~62.
- [2] T. Markovits, J. Takács, A. Lovas, J. Belt, 2003, Laser Brazing of Aluminum, J. Mater. Process. Technol., Vol. 143-144, pp. 651~655.
- [3] Z. Fan, 2002, Semisolid Metal Processing, Int. Mater. Rev., Vol. 47, No.2, pp. 49~85.
- [4] S. Engler, D. Hartmann, I. Niedick, 2000, Proc. of 6th Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites(G. Chiarmetta, M. Rosso), Edimet, Turin, Italy, pp. 483~488.
- [5] S. Y. Lee, C. H. Kim, 2009, Measurements of Micro-Defects in the Aluminum Thixoformed Part using Computed Tomography(CT) Technology, Trans. Mater. Process., Vol.18, No. 5, pp. 422~427.