



구조용 압연강재와 연청동 합금의 반응용 확산접합

김 우 열* · 박 흥 일* · 이 길 근* · 서 원 찬*

*부경대학교 재료공학부

A Semi-solid Diffusion Bonding between Rolled Steel for Structural Parts and Lead Bronze Alloy

Woo-Yeol Kim*, Heung-Il Park*, Gil-Geun Lee* and Won-Chan Seo*

*Division of Materials Science and Engineering, College of Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-739, Korea

Abstract

A rolled steel for structural parts and lead bronze alloy were bonded each other by a new semi-solid diffusion bonding process to investigate the effect of the process parameters, for example bonding temperature and bonding time, on the interface characteristics, and bonding behavior. It can be possible that manufacture of the bonded steel/lead bronze which has a cylindrical shape with inserted the lead bronze alloy into the steel ring by the diffusion bonding process under the semi-solid condition of the lead bronze alloy without any pressure and flux. It has been know that the control of the amount of the liquid phase in semi-solid lead bronze alloy was very important to obtain soundness interface, since the shear strength of the bonded steel/lead bronze at 850°C for 60 minutes under the condition of about 40% of the liquid phase in the lead bronze alloy shows maximum value, 210 MPa. The shear strength increases with an increase in bonding time and show maximum value, and then decreases.

(Received August 17, 1999)

Key Words : Semi-solid, Diffusion, Bonding, Steel, Copper alloy, Lead bronze, Interface

1. 서 론

연청동 합금은 윤활특성이 뛰어나서 부상, 메탈베어링, 라이닝재 등과 같은 각종 축수용 Cu 합금재료로서 이용이 기대되나, 구조용 부품소재로서 요구되는 기계적 강도가 낮아 단일 소재보다는 탄소강, 저합금강, 주철 등과 같은 기계적 강도가 높은 철강재료와 이종접합하여 각종 산업기계, 자동차, 건설, 조선 등과 같은 분야에 널리 적용되고 있다^{1,2)}. 따라서 철강재와 연청동 합금간의 이종접합에 관한 공정기술이 무엇보다 중요하여, 주조 접합법, 용접에 의한 육성법, 고상 확산접합법, 소결 접합법, 용사법, 용융 접합법 등과 같은 여러 가지 접합기술이 개발되어져 왔으나, 각각

의 방법에 따라 장비, 정밀도, 작업환경, 제조비용 등과 같은 아직 해결해야 할 많은 문제점들이 있다³⁻⁹⁾. 그중 확산 접합법은 모재를 용융시키지 않고 가열, 가압에 의해 밀착된 접합면에서 원자간 확산을 일으켜 접합하는 방법으로 재료의 선정이 까다로우며, 접합면의 조도 및 청정도 관리가 엄격하여 접합공정이 길어 원가가 상승한다. 또한 용융접합법의 경우에도 모재를 용점이상으로 가열하여 응고시킴으로서 접합 계면부에 응고결함 등의 결함이 발생할 확률이 높으며, 이러한 응고결함의 발생을 억제하기 위해서는 특수한 형태의 냉각설비를 요구하는 등의 문제점이 있다.

최근 상술한 종래의 방법들에서 나타나는 각종 문제점을 해결하고, 충분한 경제성을 발휘하여 신뢰성 있는 접합부를 얻을 수 있는 새로운 접합방법으로 반응

용 확산접합법¹⁰⁾이 개발되었다. 이 방법은 ① 접합하고자 하는 두 모재를 이음부 틈새를 적절히 조절하여 가공하여 실온에서 조립한 다음 ② 무가압, 무플럭스인 진공 혹은 불활성 분위기에서 가열하면 온도 상승에 따른 두 재료의 열팽창 차이에 의해 두 모재가 밀착하게 되고, ③ 저 용점 재료가 반응용 상태(고·액상 공존)가 되는 온도구역에서 일정시간 유지하면 두 모재간에 확산이 일어나 접합되는 과정으로 이루어져 있다. 이 방법의 특징은 두 재료의 열팽창계수 차이에 의해 두 재료를 밀착시킴으로서 별도의 가압설비가 필요 없으며, 접합이 고상과 액상이 공존하는 반응용 상태에서 이루어지므로 접합에 요구되는 시간이 단축되며, 접합면의 엄격한 제어를 요구하지 않아 생산원가를 절감할 수 있다.

본 연구에서는 구조용 압연강재와 연철동 합금의 이종재료를 모재로 하여 새로이 개발된 반응용 확산접합법을 이용하여 접합을 시도하여, 접합온도와 접합시간이 접합 계면특성에 미치는 영향과 반응용 확산접합의 접합거동을 검토하였다.

2. 실험방법

접합에 사용된 모재는 일반 구조용 압연강재(SS41)과 주조 Cu 합금재인 연철동 합금(LBC3종)을 사용하였으며, 각각의 화학성분을 표 1에 나타내었다. 또한 연철동 주조재의 용해거동을 알아보기 위하여 열분석장치를 이용하여, 연철동 주조재의 초기용해점, 고상선 및 액상선의 온도를 각각 측정하였다. 접합용 시험편은 그림 1과 같이 외경 26mm, 내경 20mm, 높이 15mm의 링(ring) 형태의 강재 내부에 직경 20mm, 높이 15mm의 원주형 연철동재를 초음파 세척한 후 삽입하여 조립하였다. 이때 링 형태의 강재의 내경과 원주형 연철동재의 직경의 차이는 50 μ m로 하였다. 조립된 접합용 시험편을 Ar 가스 분위기 중에서 30 $^{\circ}$ C/min의 승온속도로 연철동 합금의 고·액상 공존 영역인 800~900 $^{\circ}$ C로 가열하여 10~120분간 유지한 후 로냉하여 접합하였다. 접합된 접합재는 높이 10mm로 접합면에 수직하게 절단하여, 만능재료 시험

기를 이용하여 접합계면부에 평행하게 전단력을 작용하여 접합부의 전단강도를 측정하였다. 또한 접합부에 수직한 단면 연마시편을 제조하여, 증류수 120ml + 염산 30ml + 염화 제2철 10g의 혼합 부식액으로 표면 부식한 후 광학현미경과 SEM-EDS를 이용하여 접합부의 미세조직을 관찰하였다. 또한 접합거동에 영향을 미칠것으로 생각되는 접합온도에서의 고상과 액상의 비율을 알아보기 위하여, 조립된 접합용 시험편을 각 접합 온도에서 30분간 유지한 후 급냉하여 단면 연마시편을 제조한 후 광학현미경을 이용하여 점산법¹¹⁾으로 고상과 액상의 비율을 측정하였다.

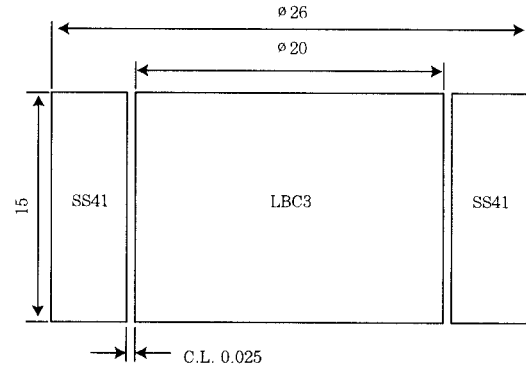


Fig. 1 Schematic drawing of the bonding specimen

3. 결과 및 고찰

3.1 접합온도의 선정

라이닝재로 사용된 연철동은 표에 나타낸 바와 같이 초기 용점 321 $^{\circ}$ C, 고상선 772 $^{\circ}$ C, 액상선 950 $^{\circ}$ C를 나타내어, 이와 유사한 합금조성인 ASTM C93700 합금¹²⁾보다 응고구간이 약간 넓게 나타났는데, 이는 소량의 Fe, Ni첨가에 의한 것으로 생각된다. 또한 초기 용점 321 $^{\circ}$ C는 미고용으로 잔존하는 Pb의 용점을 나타낸다. 한편 강재와 연철동 합금의 온도에 따른 열팽창율을 SS41과 C93700의 열팽창계수를 각각 $13 \times 10^{-6} \text{m/m} \cdot \text{K}^{13)}$, $18 \times 10^{-6} \text{m/m} \cdot \text{K}^{12)}$ 로 하여 추정된 결과, C93700이 SS41보다 약 500 $^{\circ}$ C 부근에서 50 μ m 더 팽창하게 되는 결과를 얻을 수 있었다. 따라

Table 1 Chemical composition of the base materials(wt.%)

	C	Si	Mn	Cu	Sn	Pb	Ni	S	P	Fe	Remarks
SS41	0.18	0.21	0.49	-	-	-	-	0.013	0.032	Bal.	
LBC3	-	-	-	75.9	13.2	9.31	1.1	-	0.01	0.1	I.T.:321 $^{\circ}$ C, S.T.:772 $^{\circ}$ C L.T.:950 $^{\circ}$ C

I.T:Incipient Melting Temp., S.T:Solidus Temp., L.T:Liquidus Temp.

서 조립된 접합용 시험편의 강재와 연청동 합금사이의 틈새의 간격이 50 μ m 이므로, 약 500 $^{\circ}$ C 부터는 라이닝 재로 삽입한 연청동 합금이 팽창하여 링 형태의 강재를 완전히 밀착하게 되어 틈새가 없어지게 되며, 이후 접합온도까지 강재와 연청동 합금사이에 양호한 접촉 상태를 유지할 수 있음을 알았다.

본 연구에서 설정된 접합조건은 연청동 합금쪽에 고상과 액상이 공존하는 영역으로, 고상과 액상의 상대적인 양이 접합특성과 시편의 형상유지 등에 큰 영향을 미칠 것이므로, 접합온도의 선정이 매우 중요할 것으로 생각된다. 접합온도의 선정은 접합 후 시험편의 형상과 접합온도에서의 연청동 합금의 액상량의 간접적인 측정으로 선정하였다. 그림 2에 850 $^{\circ}$ C에서 15분 유지하여 급냉한 경우의 연청동재 단면의 광학현미경 사진을 나타낸다. 접합후 연청동재는 광학현미경 조직적으로 크게 회색부분(사진의 a)과 흰색부분(사진의 b)의 2상으로 구성되어 있으며, 소량의 미고용 Pb(구형의 검은 부분)를 포함하는 것을 알 수 있다. 회색부분과 흰색부분의 상과 조성분석을 위해 형EDS로 성

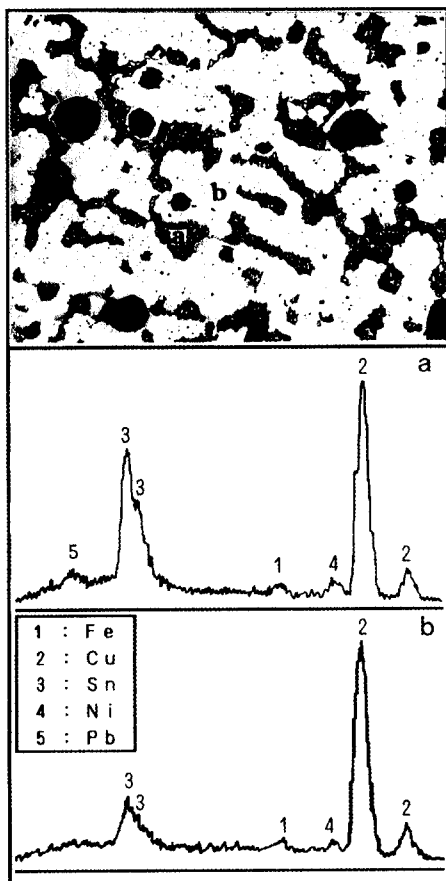


Fig. 2 Optical micrograph of quenched lead bronze alloy after bonding at 850 $^{\circ}$ C for 15 minutes, and its EDS analyses of a and b areas on micrograph

분분석한 결과(그림 2), 흰색부분에서의 Sn, Pb 피크(3, 5번)의 Cu 피크(2번)에 대한 강도비가 회색부분에서의 Sn, Pb 피크의 Cu 피크에 대한 강도비보다 낮으므로, 흰색부분(사진의 b)의 Sn, Pb 농도는 회색부분(사진의 a)의 Sn, Pb 농도보다 낮은 것으로 판단된다. 본 실험에서 사용한 조성의 연청동 합금의 고·액 공존 온도에서의 액상에서의 Sn, Pb 농도가 고상에서의 Sn, Pb 농도에 비하여 상대적으로 높으므로^{14,15)}, 사진의 회색부분이 고·액 공존 온도에서 액상으로 존재하고 있었던 부분임을 추정할 수 있다. 따라서 회색부분과 흰색부분의 상대적인 양을 산출함으로써 연청동 합금의 고·액 공존온도(접합온도)에서의 액상과 고상의 상대적인 양을 추정할 수 있으리라 판단된다. 그림 3에 800~900 $^{\circ}$ C의 범위에서 각각 30분간 접합한 후 급냉한 시편의 단면 조직사진으로부터 점산법¹¹⁾에 의해 간접적으로 구한 연청동 합금의 액상의 비율을 나타낸다. 액상의 비율은 800 $^{\circ}$ C에서 약 20%를 나타내고, 접합온도가 증가함에 따라 거의 선형적으로 증가하여 접합온도 870 $^{\circ}$ C에서는 약 50%를 나타내고 있다. 반응용상태(고·액 공존상태)에서 확산에 의해 형상을 유지하며 이종금속을 접합시키기 위해서는, 빠른 시간내에 원자가 확산 이동하여 건전한 접합계면을 형성시키는데 필요한 최소한의 액상량과 반응용상이 흘러내리지 않고 형상을 유지하며 접합이 이루어기 위한 최대 액상량이 존재할 것으로 생각된다. 실제적으로 연청동 합금의 액상이 약 20% 형성되는 800 $^{\circ}$ C에서는 접합이 거의 이루어지지 않았으며, 연청동 합금의 액상이 50% 이상 존재할 것으로 추정되는 900 $^{\circ}$ C에서는 양호한 접합이 이루어 졌지만, 연청동 합금의 모재쪽에서 액상이 지나치게 흘러 내려 많은

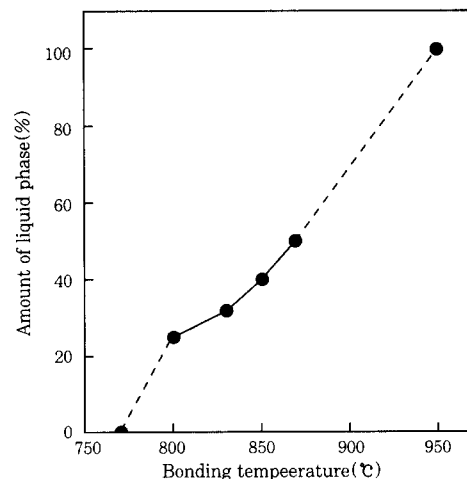


Fig. 3 Change of the amount of the liquid phase in the lead bronze alloy with bonding temperature

기공이 형성될 뿐만 아니라 건전한 형태의 시편을 얻을 수 없었다. 따라서 본 실험에서 건전한 접합계면을 얻기 위해서는 연철동 합금의 액상이 20% 이상, 50% 미만 필요할 것으로 생각되어, 적정 접합온도로서는 830~870℃로 판단된다.

3.2 접합온도와 접합시간의 영향

그림 4에 830℃, 850℃, 870℃에서 각각 10~120분간 접합한 후 로냉한 접합 시편의 접합시간에 따른 전단강도의 변화를 나타낸다. 접합시간 10분에서는 접합온도에 관계없이 25MPa이라는 낮은 전단강도를 나타내고 있다. 접합온도 830℃에서는 접합시간 30분에 전단강도 약 200MPa를 나타낸 후 접합시간의 증가에 따른 전단강도의 큰 변화는 보이지 않고 있다. 그러나 접합온도 850℃, 870℃에서는 접합시간의 증가와 함께 전단강도가 증가하여 접합시간 60분에 최대치를 나타낸 후 감소하고 있으며, 그 감소의 정도는 고온인 870℃가 저온인 850℃보다 큰 경향을 나타낸다. 또한 850℃의 경우가 전 접합시간에 걸쳐 870℃의 경우보다 높은 전단강도를 나타낸다. 본 실험 범위 내에서는 850℃에서 1시간 접합한 경우가 210MPa로 최대 전단강도를 나타내었으며, 이 값은 주조접합된 SCM440/LBC에서 얻어진 값(200MPa)⁷⁾보다 약간 높은 값이며, H. Ono 등⁶⁾이 진공 용융확산법에 의해 얻은 값(220MPa)에 근접하였다.

그림 5는 850℃에서 10분(a), 30분(b), 60분(c) 접합한 후 로냉한 접합시편의 단면의 접합계면부의 광

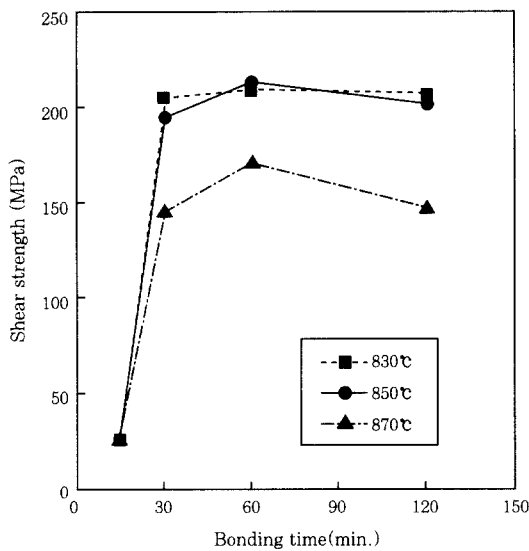


Fig. 4 Changes of the shear strength of the bonded SS41/LBC3 with bonding time for various bonding temperatures



Fig. 5 Optical micrographs of interface of the bonded SS41/LBC3 at 850℃ for (a) 10 minutes, (b) 30 minutes and 60 minutes

학현미경사진을 나타낸 것이다. 접합시간에 관계없이 접합계면부에서는 기공(void)을 관찰할 수 없으며, 특히 10분이라는 짧은 접합시간에서도 접합계면부에 기공(void)이 관찰되지 않은 것은 본 연구에서 이용한 반응용 확산접합공정이 다른 고상 확산접합공정과 달리 접합온도에서 다량의 액상이 출현함으로써 시편의 표면요철에 의한 접합계면부의 미접합부를 단시간에 액상이 채우기 때문으로 생각된다. 접합시간이 짧은 경우(a)에는 계면부의 연철동 합금쪽에 고상(흰색부분)과 액상(회색부분)이 공존하고 있으나, 접합시간이 증가(b)함에 따라 계면부의 연철동 합금쪽에는 고상(흰색부분)만이 존재하고 액상(회색부분)은 연철동 합금 내부에서만 관찰되어지는 것을 알 수 있다. 또

한 접합시간이 더욱 증가(c)하면 계면부의 고상(흰색부분)이 서로 연결되어 점차 성장하고 있는 것을 알 수 있다. 그림 6은 850℃에서 30분간 접합한 시험편의 접합계면의 Cu, Sn, Ni, Fe의 농도분포를 SEM-EDS로 분석한 결과를 나타낸 것이다. SEM상으로도 접합계면부에 기공(void)을 관찰할 수 없으며, Cu, Fe는 계면에서의 농도 기울기가 완만하게 변화하여 강재와 연철동재 사이에서 상호 확산거동을 하고 있으나, Sn, Ni는 Cu, Fe와 달리 확산거동을 하지 않아, 본 실험의 반응용 확산접합에서는 Cu, Fe가 직접적으로 관여하고 있음을 알 수 있다. 이때의 금속상호간의 확산영역은 약 1.5 μm 이었다.

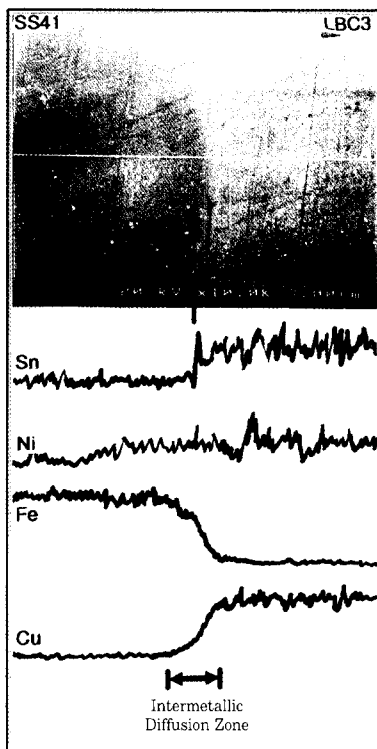


Fig. 6 EDS analysis of interface of the bonded SS41/LBC3 at 850℃ for 30 minutes

이와 같이 접합에는 Cu가 직접적으로 관여하고 있으므로, 연철동 합금의 고·액 공존 온도에서 연철동 합금을 강재와 상호 접합하는 경우에는 같은 조성의 연철동 합금을 고상만 존재하는 온도에서 강재와 상호 접합하는 경우와 달리, 연철동 합금이 상대적으로 Cu 농도가 높은 고상과 Cu 농도가 낮은 액상의 2상의 형태로 존재하게 되어, 접합계면에서의 액상과 고상의 상대적인 비에 따라 접합계면의 특성이 달라질 것으로 생각된다. 그림 2의 연철동 합금의 광학현미경 조직사진의 분석결과 흰색부분이 Cu 농도가 높은 고상인 것을 알 수 있었으므로, 접합시간의 증가와 함께 접합 계

면부의 흰색부분이 증가(그림 5)하는 것은 접합계면에서 Cu 농도가 높은 고상의 비율이 증가하는 것을 의미한다. 따라서 접합 계면부에서의 접합이 촉진되어, 계면의 전단강도는 접합시간의 증가와 함께 증가(그림 4)하는 것으로 생각된다. 그러나 60분 이상 장시간 접합한 경우 전단강도가 감소(그림 4)하는 것은 Cu 농도가 높은 고상 입자의 조대화에 의한 것으로 생각되며, 830℃의 경우 장시간 접합에도 이와 같은 전단강도의 감소현상이 나타나지 않은 것은, 접합온도가 낮아 아직 고상의 조대화 현상이 일어나지 않았기 때문으로 생각된다.

이상과 같이 강재와 연철동 합금의 반응용 확산접합시 접합온도는 연철동 합금의 액상의 양에, 접합시간은 접합계면 형상에 크게 영향을 미침을 알았으며, 연철동 합금의 액상비율, 접합부의 전단강도, 접합후 시험편의 건전성 등을 고려한 결과 연철동 합금의 액상의 비율이 약 40%인 850℃에서 1시간 접합하는 것이 최적의 접합조건으로 판단된다.

3.3 접합거동

전술한 바와 같이 반응용 확산접합은 고상과 액상이 공존하는 상태에서 이종재료간에 원자의 상호확산이 일어나 접합이 이루어지는 것으로서, 이의 접합기구를 설명하기 위해서는 고상/고상 반응뿐만 아니라, 고상/액상 반응 및 미세조직에 대한 정량적 고찰이 선행되어야 하나, 본 연구에서는 반응용 확산접합의 접합거동을 실험적 현상론에 기초하여 정성적으로 검토하고

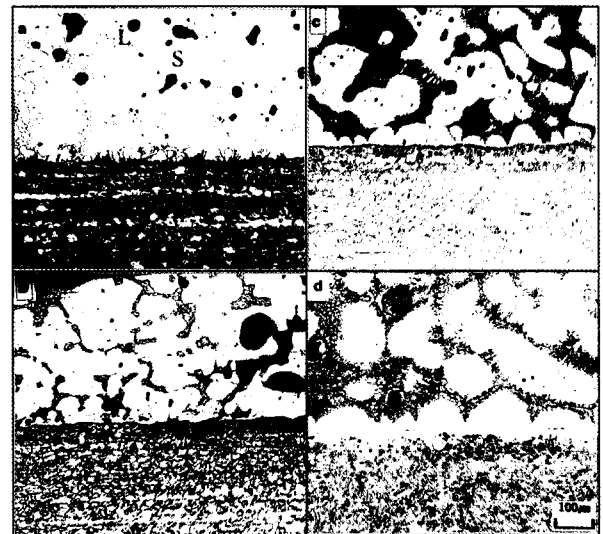


Fig. 7 Optical micrographs of interface of the quenched SS41/LBC3 after bonding at 850℃ for (a) 10 minutes, (b) 15 minutes, (c) 30 minutes and (d) 120 minutes

자 하였다. 그림 7에 연철동 합금의 고·액 공존영역인 850℃의 접합온도에서 10분(a), 15분(b), 30분(c), 120분(d)간 접합한 후 급냉한 접합시험편의 단면의 광학현미경사진을 나타낸다. 접합초기에는 접합계면부의 연철동 합금쪽에 고상인 α 상^{14,15)}(흰색부분)과 액상(회색부분)이 공존하고 있으나, 접합시간의 증가와 함께 접합계면부는 고상인 α 상으로 덮이고, 이 α 상의 입자크기가 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 초기에는 액상이 분산된 조직을 가지고 있으나, 시간의 증가와 함께 액상이 연결된 조직을 가지며, 고상인 α 상의 형태도 불규칙한 형태에서 점차 구형의 형태로 변화하여 조대화함을 알 수 있다. 이와 같은 연철동 합금의 조직 변화는 일반적인 고상/고상 확산접합에서는 관찰할 수 없는 것으로, 접합시 연철동 합금이 반응용 상태가 됨으로서 일어나는 현상으로 생각된다.

고·액 공존영역을 가지는 조성의 2원계 합금을 가열하여 고·액 공존영역에서 유지하면 상태도상에서 저울대 법칙(lever rule)¹⁶⁾을 만족시키는 양의 고상과 액상이 공존하게 된다. 만일 고상과 액상의 조성 및 고상과 액상의 상대적인 양이 유지시간에 관계없이 일정하고 충분한 양의 액상이 존재하는 상태에서는 고상과 액상은 상호 용해도를 가지고 있으므로, 고상의 일부는 액상내로 재용해하게 되고 고상이 용해된 양만큼 액상은 고상으로 재정출하게 된다. 이와 같은 용해·정출 현상은 저울대 법칙을 만족하며 끊임없이 일어나게 되며, 이와 같은 용해·정출과정시 불균일 핵생성 자리가 있으면 그 부분에서 먼저 정출이 일어날 것으로 생각된다. 또한 고상의 계면에너지의 영향에 의해 입자크기가 작은 고상은 액상내로 빨리 용해되고 큰 고상 입자는 성장하게 된다¹⁷⁾. 본 연구의 반응용 확산 접합도 연철동 합금내의 액상의 비율이 40%로 다량의 액상이 존재하므로, 전술한 것과 같은 현상이 접합중에 연철동 합금내에서 일어날 가능성이 있다. 즉 연철동 합금의 고·액공존영역에서 고상입자인 α 상의 재용해와 재정출이 일어나며, 정출시 연철동 합금과 강재의 계면이 불균일 핵생성 자리로 작용하여 접합계면에서 우선적으로 α 상의 정출이 일어나게 되어 계면부를 α 상으로 덮게 되며, 이 α 상이 계속 성장하게 된다.

한편 강재와 연철동 합금의 접합계면에서 각각의 구성원소간의 상호확산이 활발하여 고·액공존의 연철동 합금내의 액상의 조성이 시간에 따라 국부적으로 변화하는 경우에는 접합계면에서 연철동 합금내의 액상의 등온응고¹⁸⁾가 일어나게 된다. 즉 구성원소(예 : Fe, Cu)간의 상호확산에 의해 액상의 조성이 국부적으로 변화하게 되면, 액상의 응고점이 변화(응고점 상

승)하게 되어, 국부적으로 조성이 변화한 액상은 접합계면에서 고상인 α 상으로 정출하게 되고, 정출한 α 상은 구성원소간의 계속적인 확산에 의해 등온응고에 의해 성장하게 된다. 이러한 등온응고는 강재와 연철동 합금의 구성원소간에 상호용해도를 가지고 있는 경우에 일어나게 되며, 본 실험의 경우 각각의 구성원소 중 Fe와 Cu가 상호 용해도를 가지고 있어 상호확산(그림 6 참조)에 의해 등온응고가 일어날 가능성이 있다.

이와 같이 접합 계면부에 있어서의 조직의 변화 요인으로는 ① 연철동 합금내에 공존하는 고상과 액상의 재용해/재정출 반응, ② 강재와 연철동합금의 상호확산에 의한 등온응고의 가능성 등이 생각되어지나, 접합거동(조직변화)을 명확히 하기 위해서는 접합시간에 따른 연철동 합금내의 고상과 액상의 조성 및 상대적 양의 변화, 접합시간에 따른 계면 반응층의 조성과 두께 변화, 접합계면부의 고상의 조성과 연철동 합금 내부의 고상의 조성 등에 관한 정량적 분석이 추후 필요하리라 사료된다. 또한 강재와의 접합에 주된 역할을 하는 Cu를 상대적으로 다량으로 함유하는 α 상이 접합계면을 덮게 됨에 따라 Cu와 Fe의 상호 확산이 용이하게 일어나 접합이 촉진되며, 얻어진 접합 계면부도 높은 전단강도를 가지게 된다. 그러나 장시간 접합한 경우에는 접합 계면부의 전단강도가 감소하여, 계면부의 α 상의 크기가 계면 전단강도에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되나, 계면 전단강도에 미치는 계면 α 상의 영향을 명확히 하기 위해서는 계면부의 α 상의 크기, 확산층의 두께 등에 대한 정량적 검토가 추후 필요하리라 생각된다.

한편 반응용 확산접합시에는 반응용상태(고·액 공존상태)인 재료의 액상과 고상 중 고상이 이종재료간의 접합계면에 우선적으로 정출하게 되므로, 적당량의 액상의 유지뿐만 아니라, 접합에 주된 역할을 하는 원소(본 실험의 경우 Cu)의 농도가 고상에서 높아지도록 합금설계를 하는 것이 효율적으로 건전한 접합부를 얻는데 매우 중요한 것으로 사료된다.

4. 결 론

구조용 압연강재와 연철동 합금을 새로운 반응용 확산접합법에 의하여 서로 접합하여, 접합온도, 접합시간 등의 공정변수가 계면특성에 미치는 영향과 접합거동을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 연철동 합금이 반응용상태인 온도영역에서 확산 접합시킴으로서, 링 형상의 강재에 연철동이 삽입된 실린더 형태의 강/연철동 접합재를 무가압, 무플러스하

에서 제조할 수 있었다.

2) 연철동 합금내에 액상이 약 40% 존재하는 850℃에서 60분간 접합한 강/연철동 접합재가 가장 높은 계면 전단강도(210MPa)를 나타내어, 건전한 접합계면부를 얻기 위해서는 반응용상태의 연철동 합금내의 액상량의 제어가 매우 중요함을 알았다.

3) 계면 전단강도는 접합 유지시간의 증가와 함께 증가하여 최대치를 나타낸 후 감소하였다. 이와 같은 전단강도의 변화는 반응용상태인 연철동 합금내의 액상이 관여하는 고/액 반응에 의한 강/연철동 접합 계면부의 미세조직 변화에 기인하는 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. ASM Handbook Committee : Metal Handbook 9th ed. Vol.2 Properties and Selection : Nonferrous Alloys and Pure Metals, American Society for Metals, Ohio(1979), pp.239-247
2. T. Heijkoop and I. R. Sare : Cast bonding-a new process for manufacturing composite mear products, Cast Metals, Vol.2, No.3(1989), pp.160-168
3. ASM Handbook Committee : ASM Handbook Vol.6 Welding, Brazing and Soldering, ASM International, Ohio(1993), pp.175-372
4. N. F. Kazakov : Diffusion Bonding of Metals, Pergamon Press, New York(1985), pp.157-169
5. 오창선, 조정환, 김재곤 : 철계합금과 동합금재료와의 확산접합법, 대한민국특허, 공고번호 96-4433
6. H. Ono and T. Mori : Development of lining process for sliding element of hydrolic machine by "vacuum melting and diffusion" method, Material Japan, Vol.34, No.4(1995), pp.471-473
7. 오창선, 김대용, 고정, 윤용구 : 할로우형 실린더의 이중금속 접합방법, 대한민국특허, 공고번호 96-15802
8. F. A. Calvo, A. Urena, J. Ma. Gomez de Salazar, F. Molleda and A. J. Criado : Solid-state transformations during diffusion bonding of copper to iron, J. Mater. Sci., Vol.23, No.4(1988), pp.1231-1236
9. R. Lison : The application of solid state diffusion bonding for joining different metals, Weld. World, Vol.23, No.5-6(1985), pp.124-129
10. 김우열, 김종덕 : 반응용구역에서 철계합금재와 동합금재와의 확산접합방법, 대한민국특허, 출원번호 98-19355
11. ASM Handbook Committee : Metals Handbook 9th ed. Vol.9 Metallography and Microstructures, American Society for Metals, Ohio(1985), pp.123-134
12. ASM Handbook Committee : Metals Handbook 9th ed. Vol.2 Properties and Selection : Nonferrous Alloys and Pure Metals, American Society for Metals, Ohio(1985), pp.424-426
13. ASM Handbook Committee : Metals Handbook 9th ed. Vol.1 Properties and Selection : Iron and Steels, American Society for Metals, Ohio(1978), pp.145-151
14. P.Villars, A. Prince and H. Okamoto : Handbook of Ternary Alloy Phase Diagrams Vol.8, ASM International, Ohio(1995), pp.9929-9930
15. T. B. Massalski : Binary Alloy Phase Diagrams, American Society for Metals, Ohio(1986), pp.964-965
16. J. F. Shackelford : Introduction to Materials Science for Engineers 3rd ed., Macmillan Publishing Company, New York(1992), pp.227-229
17. 김상주, 이상운, 김학신 : 기초물리아금학, 반도출판사, 서울(1981), pp.402-406
18. W. Lehrer and H. Schwartzbart : Volatilization phenomena in high-temperature brazing filler alloys : Welding Research Supplement, Oct.(1960), pp.449-461