

반용융구역에서 철강재와 연철동의 이종확산접합 방법에 관한 연구
 A Study on Dissimilar Diffusion Bonding Process of Ferrous Materials and Leaded Bronze in Semi-Solid Region

김우열, 박홍일, 전승화, 하형규*, 김종덕**
 부경대학교 공과대학 생산가공공학과 *대림자동차공업주식회사, **日光精密

1. 서론

연철동은 윤활특성이 뛰어나서 부싱, 메탈베어링, 라이닝재 등과 같은 각종 축수용 동합금 재료로 사용되고 있으나, 이 합금은 단일소재보다는 탄소강, 저합금강, 주철 등과 같은 철강재료와 이종접합하여 각종 산업기계, 자동차, 건설, 조선 등과 같은 제품분야에 널리 적용되고 있다. 따라서 철강재와 연철동합금간의 이종접합에 관한 가공기술이 무엇보다도 중요하여 주조접합, 용접에 의한 육성법, 확산접합, 소결법, 용사법, 제어분위기에 의한 용융접합법 등과 같은 접합가공기술이 개발되어져 왔으나 설비비나 작업에 대한 정밀 또는 숙련정도, 작업 환경, 비용 등이 문제로 인식되어 왔다. 본 연구에서는 새로운 접합방법을 개발하여 접합을 행하였으며 이 방법의 특징은 실온에서 두 모재를 가공하여 조립한 이음부 틈새가 무가압, 무프력스인 불활성분위기(또는 진공 + 불활성가스)하에서 온도가 상승함에 따라서 이종재료의 열팽창계수의 차이에 의해 양모재가 밀착되고 연철동합금의 2상 영역(액상+고상)에서 일정시간 유지하면 미접합부없이 확산접합되는 과정으로 이루어진다.

따라서 본 연구에서는 기존의 방법과는 다른 새로운 개발한 접합방법을 <반용융대 확산접합방법>이라고 명명하고 이에 따른 접합성, 접합기구, 강도 등을 연구 조사하였다.

2. 실험방법

철강재는 시판 구입강재로서 ①일반구조용 압연강재(SS41), ②기계구조용 Cr-Mo 합금강(SCM440), ③구상흑연주철(FCD 60) 이고, 연철동(LBC 3종)은 주조합금재를 가공하여 사용하였으며 각각의 화학성분(wt%)을 표1에 나타낸다. 연철동주물의 초기 용접, 고상선 및 액상선 온도는 열분석장치를 이용하여 측정하였다.

Table 1. Chemical Composition of Base Metals (wt%)

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	S	P	Fe	비 고
SCM440	0.36	0.15	0.76	0.09	1.02	0.15	0.01	0.015	Bal.	
FCD 60	3.31	2.61	0.5	-	-	-	0.009	0.051	Bal.	
SS 41	0.18	0.21	0.49	-	-	-	0.013	0.032	Bal.	
LBC 3	Cu 75.9	Sn 13.2	Pb 9.31	1.1				0.01	0.10	I.T : 321℃ S.T : 772℃ L.T : 950℃

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

시험편은 그림1과 같이 연철동을 플러그(plug)상으로 하고 철강재를 링(ring)상으로 하여 틈새가 25 μ m 이내가 되게 가공하여 각각 아세톤에서 초음파 세척한 후 조립하였다. 이들 조립품을 분위기 접합로에 장입하고 아르곤가스로 치환하고 830, 850, 870 $^{\circ}$ C 인 2상영역(고상+액상)으로 가열하여 일정시간 유지한 다음 700 $^{\circ}$ C까지 노냉한 후 공냉처리하여 접합을 완료하였다. 접합완료된 시료중에서 광학현미경용은 접합면에 평행되게 미세 절단하여 접합면을 사포, 경면 연마하여 동부식액(부식액: 증류수 120ml + 염산 30ml + 염화제2철 10g)으로 부식하여 접합계면부의 접합현상을 관찰하였고, 강도시험은 접합완료된 시험편을 높이가 10mm되게 절

단 가공하여 만능재료시험기에서 $2\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 크로스헤드 속도로 전단시험하여 측정하였다. 한편, 접합계면부의 SEM 조직을 병행하여 관찰하였으며 원소분포는 EDS를 이용하여 조사하였다.

3. 실험결과 및 검토

열분석장치를 이용하여 아르곤가스 분위기하에서 측정한 연철동주물의 냉각곡선 결과를 표 1에 나타내었다. 이 표에서 알 수 있는 바와 같이 315 °C의 초기 용점점은 점분석결과 Pb-rich 상의 용점을 나타내었고, 785~947 °C 사이가 2상영역(응고구간)임을 알 수 있었다. 연철동합금의 2상 영역에서의 액상과 고상비율을 측정하여 접합온도를 설정하기 위해서 SS41/LBC3를 그림1과 같이 조립하여 아르곤가스 분위기의 垂直管狀爐에서 800 °C, 830 °C, 850 °C, 870 °C에서 각각 30 분간 유지한 후 수냉하였다. 수냉처리된 시편을 사포, 경면연마하여 부식처리한 동합금 조직중에서 EDS로 점분석한 결과 액상부는 고상보다 상대적으로 주석농도의 피크가 높고, 납의 피크가 나타나는 것으로 부터 고상과 액상을 구분하였다. 액상부의 비율은 점산법으로 측정하였으며 그 결과를 그림2에 나타내었다. 또한 예비시험을 통해 접합된 양상을 관찰한 결과 800 °C의 경우는 SS41/LBC3이 거의 접합되지 않았고 900 °C 인 경우는 접합계면부에서는 접합이 양호하게 이루어 졌지만 액상이 지나치게 흘러내려 연철동 합금쪽에서 많은 보이드가 생성되었다. 따라서 접합온도는 830 °C ~ 870 °C를 택하였다.

한편, 접합조건을 설정하여 최적의 강도를 측정하기하기 위해서 SS41/LBC3을 그림1과 같이 조립하여 아르곤가스 분위기하에서 830, 850, 870 °C의 접합온도에서 각각 10, 30, 60, 120분 유지하고 700 °C까지 노냉한 다음, 실온까지는 공냉하여 접합을 완료하였다. 접합완료된 SS41과 연철동의 접합강도는 전단강도로 측정했으며 그 결과를 그림3에 나타내었다. 이 그림을 통해서 알 수 있는 바와 같이 접합유지시간이 짧을 경우는 접합온도에 상관없이 전부 완전한 접합이 이루어지지 않고 이음부에서 파단이 일어났다. 접합온도가 830, 850 °C인 경우 접합유지시간이 30분 이상이 되면 전단강도 약 20 kg/mm² 정도의 거의 일정한 값을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그러나 870 °C의 경우는 접합시험편의 연철동 모재합금쪽에서 액상이 소량 흘러내려 미세한 보이드가 생성되어 830, 850 °C 보다 강도가 더 낮은 강도를 나타내었다. 따라서 연철동의 액상비율, 접합부의 전단강도, 접합후 연철동부의 건전성, 접합유지시간 등을 고려한 결과 적합한 접합온도는 액상의 비율이 약 40%인 850 °C가 적절하다고 판단되어 접합현상에 대한 조사는 850 °C의 경우에 대해서 이루어졌다. SS41과 LBC3을 그림1과 같이 조립하여 실온에서 아르곤가스로 치환한 분위기로에서 850 °C의 접합온도로 가열한 후 각각 10, 30, 60분 유지한 후 700 °C까지 노냉한 후 실온까지는 공냉하여 접합을 완료하였다. 그림4에 접합완료된 시편의 광학현미경 조직사진을 나타내며, 이 그림4a, 4b, 4c, 로부터 접합계면부에는 결합이 전혀 존재하지 않는다는 것을 알 수 있으며, 초기 액상부(동합금쪽의 회색부)는 유지시간이 짧을 경우는 접합계면부에서 2상(고상+액상)이 공존하고 있지만 유지시간이 경과함에 따라 액상부는 동합금 내부쪽에서만 보여지고 있다. 또한 시간경과에 따라 접합계면부의 Cu-rich인 고상은 서로 연결되고 점차 성장하고 있다. 한편 Pb-rich상(흑색부)은 유지시간이 증대에 따라 거의 구형(그림4c)으로 변화되고 있으며 접합계면부에서는 일부 침식현상도 보여지고 있음을 알 수 있다. 접합조건 850 °C에서 30분간 유지한 경우의 접합계면부 근방에서 Sn, Ni, Cu 및 Fe 원소의 농도분포를 EDS로 선분석한 결과를 그림5에 나타내었다. 이로 부터 Cu와 Fe 원소가 접합에 관여하며 금속상호간의 확산영역은 약 1.5 μm 가 되었다. 그러나 Sn, Ni의 선분석 결과 거의 변화가 없어서 접합에는 거의 영향을 미치지 못함을 알 수 있었다. 한편 SCM440/LBC3의 경우도 상술한 내용과 거의 비슷하였고 양호하게 접합이 이루어졌다.

또한 FCD60 과 LBC3의 조립품을 아르곤가스 분위기로 중에서 가열하여 850 °C에서 0.9ks, 1.8ks, 3.6ks 동안 유지한 후 700 °C까지 노냉한 다음 공냉처리하여 접합 완료된 것을 나타낸 것이 그림6의 a, b, c 이다. 접합양상은 SS41과 유사한 경향을 나타내지만 구상흑연주철 표면에 존재하는 흑연은 0.9ks일 경우는 접합계면부 근방에 원래 형상의 흑연상이 보이지만

시간이 경과할수록 철계에서 빠져나와 연입청동 합금쪽으로 약간 이동하고 그 자리에 동합금의 액상이 밀려들어가 철계와 동합금이 확산접합되고 있고 흑연은 형상변화를 나타낸다. 일반적으로 주조접합에서는 흑연은 주철계면의 이동에 의해서 유리되어 나타나지만 반응용 영역에서는 계면의 이동은 없고 흑연이 있던 자리에 액상의 동합금이 밀려들어가고 있음을 알 수 있다. 따라서 구상흑연주철과 연청동접합의 경우는 접합유지시간이 길어지면 구상의 흑연이 변화되므로 유지시간이 짧은 것이 바람직하다고 판단된다.

4. 결론

철강재와 동합금을 무가압, 무프릭스하에서 이중접합을 행하기 위해서 그림1 같이 SS41, SCM440, FCD60과 LBC3을 각각 조립한 다음(틈새-Clearance:0.025 μ m) 아르곤가스 분위기하에서 가열하여 연청동합금의 2상영역에서 확산접합한 결과는 다음과 같았다.

- 1) 무가압, 무프릭스하에서의 이중접합은 아르곤분위기에서도 접합계면부에서 완전한 접합이 이루어질 수 있었다.
- 2) 동합금의 2상영역인 850 $^{\circ}$ C에서 30분동안 유지할 경우 연청동의 강도에 필적할 정도의 전단강도가(20kg/mm²)가 얻어졌지만 870 $^{\circ}$ C 이상에서는 동합금모재쪽에 결함이 존재하고 830 $^{\circ}$ C 이하에서는 미접합부가 생성되어 강도가 저하가 일어났다.
- 3) 상호확산접합에 관여하는 원소는 Fe, Cu이고 850 $^{\circ}$ C에서 30분동안 유지할 경우 금속상호간확산영역은 1.5 μ m이었다.
- 4) 구상흑연주철의 흑연은 동합금쪽으로 빠져나와 형상변화가 생기며, 흑연이 있던 자리는 액상의 동합금이 밀려들어가 접합이 이루어졌다.

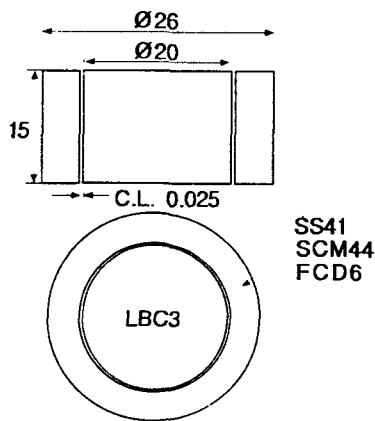


Fig.1 Assembly Diagram of Specimen

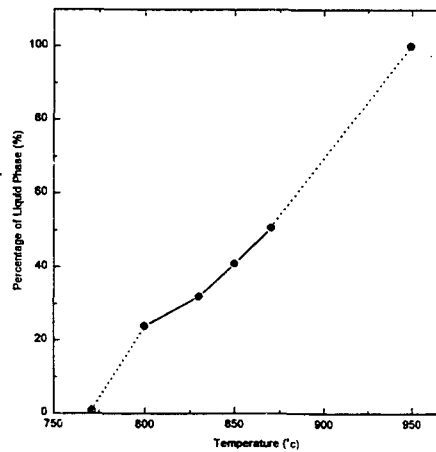


Fig.2 Percentage of Liquid Phase with Temperature

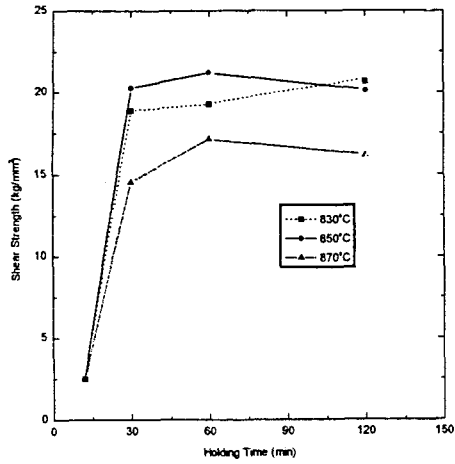


Fig.3 Change of Shear Strength with Holding Time at 830°C, 850°C and 870°C of Bonding Temperature in SS41/LBC3

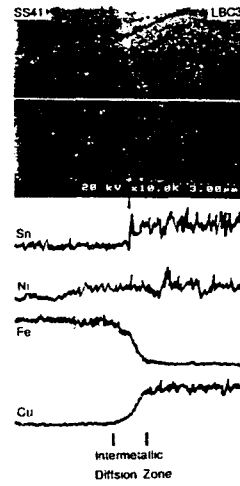


Fig.5 Results of Line Analysis on Fe,Cu,Sn,Ni Elements in SS41/LBC3 Bonding under Ar Gas Atmosphere Bonding Condition : 850 °C × 1.8 ks

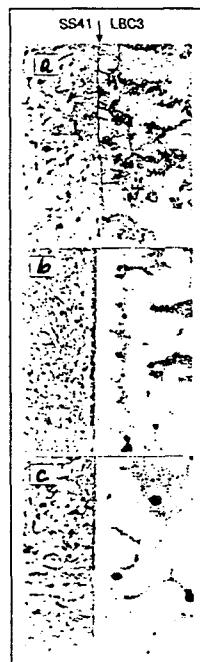


Fig.4 Optical Microstructures of Bonded Interface in SS41/LBC3 Bonding Conditions:
a:850 °C × 0.9ks
b:850 °C × 1.8ks
c:850 °C × 3.6ks

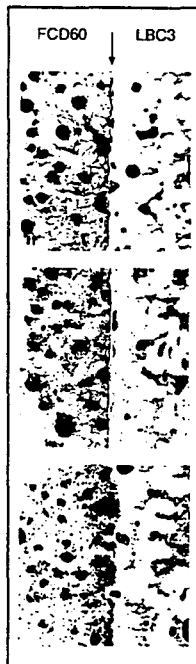


Fig.5 Optical Microstructures of Bonded Interface in FCD60/LBC3 Bonding Conditions:
a:850 °C × 0.9ks
b:850 °C × 1.8ks
c:850 °C × 3.6ks