

Ni-B-Si 계 합금을 삽입금속으로한 304 스테인레스강의 천이액상 확산접합에 관한연구

A Study on Transient Liquid Phase Diffusion Bonding of 304 Stainless Steel Using The Insert Metal with Ni-B-Si Systems

부산공업대학
부산대학교

김 우열, 정 병호
박 노식, 강 정운, 박 세운

1. 서론

과학 기술의 고도화에 따라 항공우주산업, 원자력산업등 보다 가혹한 환경 에서도 사용될 수 있는 재료의 요구가 높아져 고성능 선단재료의 개발이 성행되고 있다. 이와같이 고성능 선단 재료의 실용화를 위해 이러한 재료에 대한 생산가공 기술중에서도 접합기술의 고성능, 고정도화가 요구되고 있어 최근에는 용접법(Fusion-welding)대신 고성능 접합법으로써 고상확산 접합법(Diffusion Bonding)이나 천이액상 확산 접합법(Transient Liquid Phase Bonding)등이 주목되고 있다. 천이액상 확산 접합법은 고상확산접합 과 브레이징(Brazing)의 장점만을 합친 접합법으로 삽입금속을 접합과정중에 일시적으로 액상을 형성시킨후, 접합온도로 유지시키므로써 액상을 등온용고 시키는 접합법이며 원리적으로 모재와 거의 같은 정도의 물리적, 화학적, 기계적 성질을 갖는 접합 이음부를 얻을 수 있는 방법이기 때문에 최근 큰 각광을 받고 있다. 그러나 철강재료의 동종금속간의 접합에 천이액상 확산 접합법을 적용한 예는 드물고 국내에서의 연구도 거의 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 가장 공업적으로 널리 사용되고 있으며 내열재료인 시판 오스테나이트계 STS304 스테인레스강을 재료로 택하여 천이액상 확산 접합법을 본 연구재료에 적용시켜 기초 자료를 확립할 목적으로 접합부 조직 변화에 미치는 접합조건 및 삽입금속의 영향을 조사 검토 하고 접합부 근방에 형성되는 생성상의 동정과 접합 이음부의 기계적 성질을 조사하여 신뢰성 있는 접합 이음부 및 접합현상들을 연구 조사하였다.

2. 시료 및 실험방법

본 연구에서 사용된 모재는 시판 구입강종 인 STS304 이고, 삽입금속(Insert Metal)은 시판의 Ni-Cr-B 계, Ni-Cr-B-Si 계인 MBF-계열로서 두께가 40 m 인 4 종류의 비정질재료와 4종류의 제조된 저농도B계 재료를 이용했으며, 삽입금속의 화학성분을 나타내면 표1과 같다. 접합 방법은 삽입금속을 삽입한 접합시험편을 고주파유도 접합장치내에서 133 mPa의 진공하에서 소정의 온도까지 10 K/sec 의 가열속도로서 가열한 후 일정시간 유지한 다음 Chamber내에서 자연 냉각시켰다. 온도는 시험편에 CA 열전대를 Percussion 용접하여 기록계에 연결하여 측정 했다. 접합압력은 약 8 N의 추를 사용했고 액상폭을 일정하게하기 위해서 직경 30 m의 W Spacer를 이용했다. 접합부의 현미경조직은 경면연마하여 10% 옥살산 또는 염산 알코올 용액에서 전해부식하여 관찰하였다. SEM 및 에너지 분산형 X선 분석장치(이하 EDX)에 의해 접합부의 생성상의 원소분포를 조사하였고 B, C 의 원소는 전자선분석장치(이하 EPMA)를 사용했다. 생성상의 동정은 추출 Replica법에 의해 Replica 막을 만들어 TEM 에 의해 행해졌다. 인장시험은 직경 10mm 높이 35mm가 되게 가공한 인장용 시험편을 상기와 같은 접합방법으로 접합한후 인장시험편으로 가공하였으며, 시험은 실온에서 $2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 의 스트레인 속도하에서 행했다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 시판용 삽입금속에 의한 접합 현상

STS 304를 Ni-Cr-B, Ni-Cr-B-Si계인 시판용 비정질합금의 4종류 합금을 삽입금속으로 사용하여 접합한 경우, 접합부의 조직을 비교한 결과 삽입금속의 종류에 관계없이 접합계면 근방의 모재 쪽에 미세한 생성상이 존재하고, 입계에도 막대상의 생성상이 존재하고 있다. 생성상

의 량은 MBF-80, MBF-30, MBF-35, MBF-50의 순으로 감소하는 경향이 있었고 B함유량이 많을수록 생성량이 증가함을 알 수 있었다. MBF-30 및 MBF-80을 사용하여 1423K x 3.6ks의 조건으로 접합한 경우 접합온도가 낮을수록, 접합계면의 모재 근방에서 생성상이 많이 존재하고, 입계에 존재하는 생성상의 깊이도 깊게 나타났다.

사진1은 MBF-80을 사용하여 1473K 2.5ks의 조건으로 접합한 시험편의 접합부의 SEM조직과 EDX로 성분분포를 분석한 결과이다. 접합부에서 Ni과 Cr의 농도 분포는 서로 상대적 관계를 가지고 있는 것으로 부터, 등온용고과정에서 상호확산이 일어났음을 알 수 있다. Cr의 농도 분포는 모재와 접합부에서 거의 동일하나, 생성상이 존재하는 계면에서 피크가 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 생성상이 Cr계 생성물임을 의미하고, 시판 Ni기 비정질합금을 삽입금속으로 사용하여 STS 304를 접합하면, 접합계면의 모재 쪽에서 Cr붕화물계의 생성상이 다량으로 존재하게 되어 기계적성질 및 내식성이 저하될 가능성이 있음을 예측할 수 있다.

3.2 제조된 저B계 삽입금속에 의한 접합현상

시판용 Ni기 비정질합금을 삽입금속으로 사용하는 경우 접합계면의 모재 쪽에서 Cr붕화물계가 입내 및 입계에서 생성되는 것이 확인되었다. 여기서 B함유량이 낮을수록 생성량이 저하하는 경향이 있다는 점에 착안하여, MBF-50의 B 함유량 보다 낮은 0.5wt% 및 1.0wt%의 B를 첨가하고, 용접을 낮추기 위하여 Si 함유량을 4.6, 8wt%로 변화시키고 기계적 성질 및 내식성을 향상시키기 위해 Cr을 18wt% 첨가시킨 새로운 삽입금속을 제조하였다. 새로운 삽입금속의 화학조성은 표1에 BS시리즈로서 표시하였다. 이 중에서도 B 함유량이 적고, Si 함유량이 적은 BS-054 및 BS-104는 용접이 높아 접합상태가 불량하였다. 사진2는 BS-106(Ni-18%Cr-1%B-6%Si)을 삽입금속으로 사용하여 1473K에서 접합한 경우, 유지시간에 따르는 접합부의 조직 변화 즉 액상의 소멸상황을 나타낸 것이다. 0ks로 유지한 (a)에서, 접합부 내부에는 공정생성상(흑색부)만이 존재하고, 0.6ks로 유지한 (b)에서는 공정생성상이 약간 감소하고, 2.5ks로 유지하면 공정생성상이 완전히 사라진다. 공정생성상이 시간의 경과와 더불어 감소하는 것으로 부터 등온용고함을 알 수 있다. 또한 BS시리즈인 삽입금속의 종류, 즉 BS-058, BS-106, BS-108을 사용하여 1473K x 2.5ks에 따른 등온용고 완료 후의 접합부 조직을 비교해 본 결과, 광학현미경 조직으로는 거의 구별이 곤란하지만, BS-108에서는 타의 것 보다 입계의 생성상이 약간 많이 존재하는 것으로 나타났다. 이상의 결과로 부터, 제작된 삽입금속은 시판용 Ni기 비정질합금의 삽입금속에 비하여 접합계면에서 생성상의 생성을 억제시킬 수 있음을 알 수 있다.

3.3 생성상의 동정

전술한 바와 같이, 시판용 Ni기 비정질합금인 MBF시리즈, 제작된 BS시리즈인 삽입금속을 사용하여 STS304를 접합하는 경우, 접합계면 근방의 모재 쪽의 입내 및 입계에서 량의 차이는 있지만, 생성상이 생성된다. 이 생성물을 EDX 및 EPMA로 분석한 결과 Cr계 붕화물 혹은 탄붕화물일 것으로 예상되었다. 이를 TEM으로 동정한 결과 입계 생성상은 Cr을 주체로 한 $M_{23}(C,B)_6$ 및 Cr_2B 임을 알 수 있었다.

3.4 접합부의 기계적 성질

그림1은 BS시리즈의 삽입금속을 사용하여 1423K x 2.5ks의 조건으로 접합한 경우, 접합이음부의 인장성질에 미치는 삽입금속의 영향과 접합분위기의 영향을 나타낸 것이다. MBF-50을 사용한 시험편 및 1423 x 3.6ks로 접합한 시험편은 전부 접합계면에서 파단하였지만, BS시리즈의 삽입금속을 사용하고 1473K 이상의 온도에서 접합한 시험편은 동일 삽입금속 및 동일접합조건에서도 모재 혹은 접합계면에서 파단되었다. 그러나 MBF-50의 것은 BS시리즈의 것에 비해 인장강도가 거의 동일하지만, 연성이 약간 낮음을 알 수 있다. 이것은 계면 및 입계의 탄붕화물의 영향에 의한 것으로 사료된다. Ar분위기에서 접합한 시험편도 진공분위기의 것과 대등한 인장성질을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

Table 7. Chemical composition of atmosphere and prepared insert metals

Materials	Cr	Si	B	Ni	Melting Temperature Range (K)
MBF-30	-	4.5	3.2	Bal.	1253-1313
MBF-35	-	7.3	2.2	Bal.	1233-1283
MBF-30	18.5	7.5	1.4	Bal.	1338-1423
MBF-80	15.2	-	4.0	Bal.	1293-1335
BS-054	18	4	0.5	Bal.	1372-1440
BS-056	18	6	0.5	Bal.	1355-1415
BS-058	18	8	0.5	Bal.	1338-1396
BS-104	18	4	1.0	Bal.	1358-1434
BS-106	18	6	1.0	Bal.	1349-1413
BS-108	18	8	1.0	Bal.	1333-1393

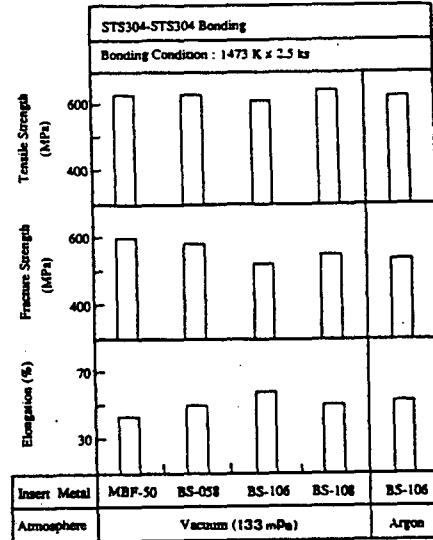


Fig. 1. Effect of bonding atmosphere and insert metal on tensile properties at bonding condition of 1473 x 2.5ks for BS series

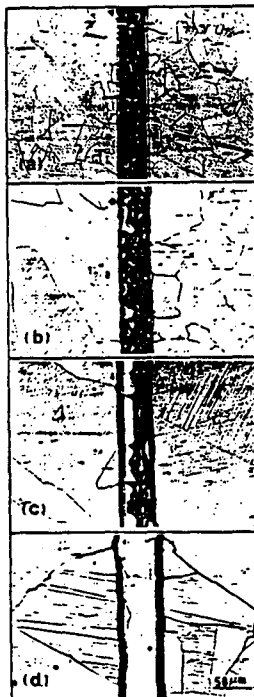


Photo. 2. Optical microstructure of bonded interlayers (1473K)
Bonding time: (a) 0ks (b) 0.6ks (c) 1.2ks (d) 2.5ks
Insert metal: BS-106

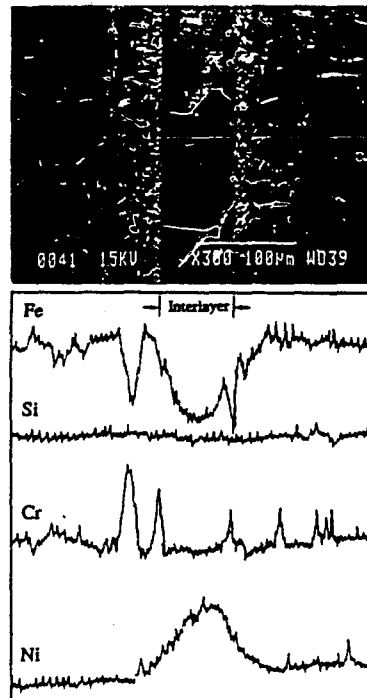


Photo. 1. SEM structure and its EDS result of bonded interlayers
Bonding condition: 1473K x 2.5 ks
Insert metal: MBF-80