

研 究 論 文

大韓熔接學會誌
 第9卷第4號 1991年 12月
 Journal of the Korean
 Welding Society
 Vol.9, No.4, Dec., 1991

304 스테인레스강과 구조용탄소강과의 천이액상확산접합에 관한 연구

김우열* · 정병호* · 박노식** · 강정윤*** · 박세윤***

A Study on Transient Liquid Phase Diffusion Bonding of 304 Stainless Steel and Structural Carbon Steels

W.Y. Kim*, B.H. Jung*, N.S. Park**, C.Y. Kang***, S.Y. Park**

Key Words : Transient Liquid Phase Diffusion Bonding(천이액상확산접합법), Insert Metal(삽입 금속), Isothermal Solidification Process(등온응고과정), Boron(보론), Si(실리콘), Borides(붕화물), Bonded Interlayer(접합부), Tensile Properties(인장성질)

Abstract

The change of microstructure in the bonded interlayer and mechanical properties of the joints were investigated during Transient Liquid Phase Diffusion Bonding(TLP bonding) of STS304/SM17C and STS304/SM45C couples using Ni base amorphous alloys added boron and prepared alloy as insert metal.

Main experimental results obtained in this study are as follows :

- 1) Isothermal solidification process was completed much faster than theoretically expected time, 14ks at 1473K temperature. Its completion times were 3.6ks at 1423K, 2.5ks at 1473K and 1.6ks at 1523K respectively.
- 2) As the concentration of boron in the insert metal increased, the more borides were precipitated near bonded interlayer and grain boundary of STS304 side during isothermal solidification process, its products were $M_{23}(C, B)_6$.

* 정회원, 부산공업대학

** 학생회원, 부산대학교 대학원

*** 정회원, 부산대학교 공과대학

- 3) The formation of grain boundary during isothermal solidification process was completed at structural carbon steel after starting the solidification at STS304 stainless steel.
- 4) The highest value of hardness was obtained at bonded interface of STS304 side. The desirable tensile properties were obtained from STS304/SM17C, STS304/SM45C using MBF50 and experimentally prepared insert metal with low boron concentration.

1. 서 론

천이액상확산접합법(Transient Liquid Phase Diffusion Bonding)은 브레이징과 고상접합법의 장점만을 조합시킨 접합법으로 용융용접이 곤란한 초내열 구조합금을 접합하기 위하여 개발되었다. 이 접합법은 접합하고자 하는 두 금속 사이에 삽입금속을 삽입한 후 삽입금속의 용융온도 이상 모재의 용융온도 수 백도 이하의 온도로 가열함으로써 접합이 이루어지고, 그 후에 모재의 조성과 접합부의 조성을 균질화하기 위하여 열처리를 행하기도 한다. 사용되는 삽입금속(Insert metal)은 모재와 유사한 조성을 가진 합금에 확산속도가 빠르고, 공정반응에 의해 용점을 낮출 수 있는 B, P, Si 등과 같은 원소를 첨가한 합금이다.

본 접합법에 대한 연구는 주로 고가인 Ni기 초내열 합금을 대상으로 한 연구가 대부분이고, 최근 모재에

필적하는 기계적성질을 얻을 수 있는 것으로 확인되고 있다^{1~10)}. 또한 철강재료^{11~17)} 및 Ti합금¹⁸⁾의 접합에 대한 연구도 시도되고 있다.

小島¹⁴⁾ 등은 Ni박판에 Ni-P합금을 도금한 저용점 합금 박판을 삽입금속으로 스테인레스강과 구조용 탄소강과의 접합을 시도하여 모재와 필적하는 인장성질을 얻을 수 있다는 것이 보고되고 있다. 그러나, P의 사용은 내식성에 상당한 악영향을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

따라서, 본 연구에서는 시판되고 있는 Ni-Cr-B, Ni-Cr-Si-B계 비정질 합금을 삽입금속으로 사용하여 스테인레스강과 구조용탄소강을 접합하였을 때, 기초적인 접합현상을 파악하고, 접합성을 검토하기 위하여 접합부의 조직 및 접합강도에 미치는 삽입금속, 모재의 탄소량 및 접합조건의 영향을 조사하였다. 또한, 이 결과를 기초로 하여, 새로운 조성의 삽입금속을 제작하고, 이 삽입금속의 접합성도 검토하였다.

Table 1 Chemical composition of base metal(wt%)

Materials	Ni	Cr	Mo	C	Mn	Si	P	S	Fe
STS304	7.95	17.9	1.30	0.064	1.40	0.86	0.019	—	Bal.
SM17C	—	—	—	0.170	0.47	0.20	0.019	0.004	Bal.
SM45C	—	—	—	0.440	0.77	0.20	0.016	0.005	Bal.

Table 2 Chemical composition of insert metal(wt%)

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-50	18.5	7.5	1.4	Bal.	1338~1423
MBF-80	15.2	—	4.0	Bal.	1293~1335
BS-054	18.0	4.0	0.5	Bal.	1372~1440
BS-056	18.0	6.0	0.5	Bal.	1355~1415
BS-058	18.0	8.0	0.5	Bal.	1338~1396
BS-104	18.0	4.0	1.0	Bal.	1358~1434
BS-106	18.0	6.0	1.0	Bal.	1349~1413
BS-108	18.0	8.0	1.0	Bal.	1333~1393

2. 실험방법

Table 1 은 모재인 오스테나이트 스테인레스강 STS 304와 구조용탄소강 SM17C SM45C의 화학조성을 표시한 것이다. Table 2는 삽입금속의 화학조성을 표시한 것이다. 여기서 MBF시리즈는 시판되고 있는 용접저하원소인 B 및 Si이 첨가된 Ni기비정질 합금으로서 두께는 약 40 μ m이다. BS시리즈는 실험제조한 합금으로서, 고주파 진공용해로(진공도 : 26.6Pa)에서 용해하여, 10mm(dia.) \times 100mm(*l*)의 잉곳으로 제조한 후, 약 60 μ m 정도의 두께로 절단하여 사용하였다. 용해에 사용한 B은 비정질분말이고, 입도는 약 200mesh이다.

접합은 10mm(dia.) \times 10mm(*l*)의 시료의 피접합면을 사포로써 1500번 까지 연마한 후, 삽입금속과 함께 아세톤으로 초음파 세척하였다. 삽입금속을 삽입한 접합시험편의 세트를 Fig. 1에 표시한 접합장치 내에 장착하고, 133mPa의 진공 또는 Ar분위기 중에서 소정의 접합온도까지 약 30K/s의 가열속도로 고주파 가열하고, 소정의 시간 유지하여 접합을 행하였다. 접합하중은 8N의 추를 이용하여 부가했다. 또한, 초기 액상폭을 일정하게 유지하기 위하여 50 μ m의 W와이어를 삽입금속과 함께 삽입하여 접합을 행하였다.

생성상의 성분분석은 EDX 및 EPMA를 이용하여 행하였고, 생성상의 동정은 Replica을 만들어서 TEM을 사용하여 행하였다.

인장시험편의 형상은 Fig. 2와 같으며 인장시험은

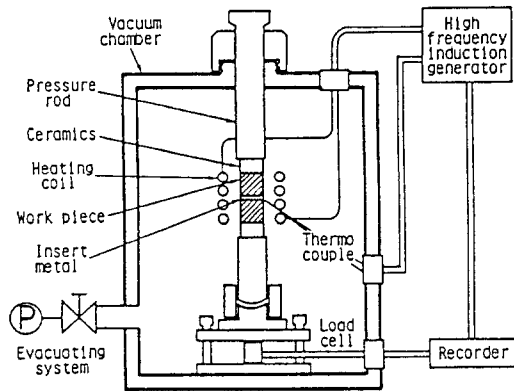


Fig. 1 Schematic diagram of bonding apparatus.

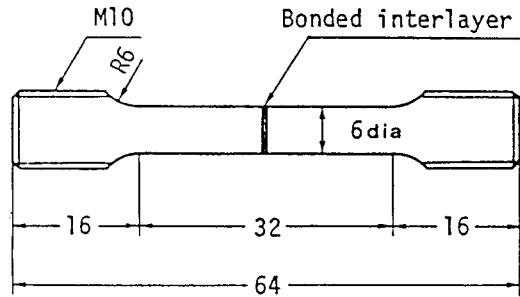


Fig. 2 Specimen for tensile test.

크로스 헤드의 속도를 약 0.167mm/s, 경도시험은 미소경도기를 사용하여 하중 0.5N, 유지시간 15초의 조건으로 행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 접합현상

본 접합법의 접합과정은 접합온도로 가열하여 (1) 삽입금속만이 용융하는 과정 (2) 액상 삽입금속과 모재가 반응하여 삽입금속 근방의 모재의 표면이 미세적으로 용융하는 과정 (3) 등온응고하여 액상이 소멸하는 과정 (4) 모재의 조성과 접합부 조성이 균질화되는 과정으로 분류되고 있다. 또한 동종 금속인 경우에는 등온응고시 고상의 성장은 양 모재쪽에서 성장할 것으로 예상되나, 스테인레스강과 탄소강과 같은 이종금속과의 접합에서는 다소 다를 것으로 예상이 된다.

그래서, 시판되는 Ni기 비정질합금을 삽입금속으로 사용하여 스테인레스강과 구조용탄소강을 접합하는 경우, 접합현상을 거시적으로 파악하기 위해서 접합시간의 변화에 따르는 접합부조직의 변화를 관찰하였다.

Photo. 1은 유지시간의 변화에 따른 접합부 근방의 조직 변화에 대한 전형적인 예를 나타낸 것이고, 삽입금속으로 MBF-80을 사용하여 1473K에서 접합한 경우 액상의 소멸현상을 나타낸 것이다. 0ks로 유지한 (a)에서는 접합부 내부에 공정조직(흑색부)과 막대상(흰색)의 정출상이 존재한다. 이와 같은 정출상들이 존재하는 영역은 접합온도에서 액상일 것이다.

Photo. 2의 (a) 및 (b)는 각각 MBF-80 및 MBF-50을 삽입금속을 사용하고, 초기 액상폭을 일정하게 하기 위하여 50 μ m의 W와이어 삽입하여 1473K \times 0ks의 조건으로 접합한 것이다.

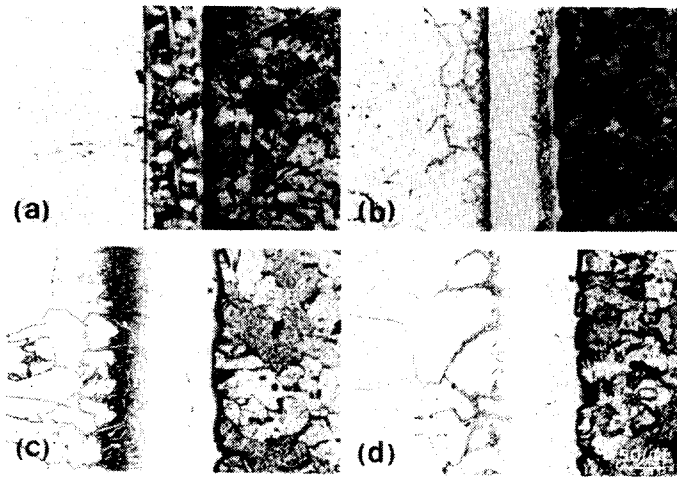


Photo. 1 Optical microstructures of bonded interlayers(at 1473K temp.)
 Base metal : STS304 - SM17C,
 Insert metal : MBF-80
 Bonding time : (a) 0ks (b) 0.9ks (c) 1.6ks
 (d) 2.5ks

(a)에서 W 와이어의 폭보다 공정조직이 존재하는 영역의 폭이 크고, 그 차이는 약 $30\mu\text{m}$ 정도이다. 이것은 유지시간이 0초임에도 불구하고 액상폭이 증가한 것을 의미하고, 그 이유는 MBF-80(Ni-15.2%Cr-4.0%B)의 용점이 1335K이므로, 가열 도중이라도 1335K 이상에서는 삽입금속은 용융되고, 용융된 삽입금속이 모재와 순간적으로 반응한 것으로 사료된다. 그러나, (b)에서는 액상폭이 와이어폭과 거의 같다. 즉 이것은 용융된 삽입금속과 모재와 반응이 미소함을 의미한다. 그 이유로서는 다음과 같다. 첫째로 1473K에서 스테인레스강과 탄소강의 B 및 Si의 액상평형농도는 Fe-B 및 Fe-Si 2원계로 부터 참고¹⁹⁾하면 각각 3.8wt% 및 19.8wt%이지만, MBF-50(Ni-18.5%Cr-7.5%Si-1.4%B)의 용점저하원소인 B 및 Si의 농도는 평형농도 보다 낮아서 거의 반응이 일어날 수 없기 때문이라고 사료된다. 둘째는 MBF-50의 용점이 1423K이므로, 반응시간이 MBF-80 보다 짧기 때문이다.

Photo. 1로 부터, 유지시간이 증가함에 따라 접합부 내부에 존재하는 공정상은 감소하여, 2.5ks에서는 공정조직 즉 액상이 완전히 소멸되었음을 알 수 있고, 이와 더불어 스테인레스강 쪽의 접합계면에서는 생성상이 존재하는 깊이가 증가하고, 입계에 존재하는 생

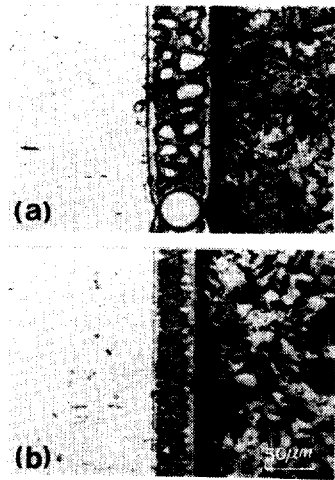


Photo. 2 Optical microstructures of bonded interlayers
 Base metal : STS304-SM17C
 Insert metal : (a)MBF-80
 (b)MBF-50
 Bonding condition : 1473K×0ks
 (133mpa)

성상의 영역의 깊이도 증가함을 볼 수 있다. 또한, (b)에서 알 수 있는 것처럼 등온응고과정에서 고상의 성장은 주로 스테인레스강에서 일어나고 있다. 이와 같은 현상은 STS304-SM45C에서도 거의 같은 경향이고, 다른 삽입금속에서도 거의 동일한 경향이였다.

일반적으로 등온응고과정의 율속기구는 용점저하원소인 B, P, Si 등이 모재로 확산에 의한 것으로 많은 연구^{7),9),10)}를 통해 이미 밝혀져 있고, Ni-B 2원계의 액상소멸 완료시간 t_f 는 다음과 같은 식으로 나타났다고 보고¹⁰⁾되고 있다.

$$t_f^{1/2} = 53.8 \times (2h/D)^{1/2} \quad (1)$$

여기서, $2h$ 는 액상의 초기폭이고 D 는 고상의 확산계수이다.

액상의 소멸은 고액계면에서 고상 중으로 B의 확산에 의해 율속되고, 고상의 조성은 모재의 용융반응에 의해서 Ni에 Fe, Cr등이 함유된 다원계 합금일 것이다. 확산계수 D 는 이 합금 중에 B의 확산계수일 것이나, 이 확산계수의 직접적인 데이터가 없기 때문에 Ni중에 B의 확산계수¹⁰⁾ ($1473\text{K} : 1.33 \times 10^{-9} \text{m}^2/\text{s}$)를 사용하고, 초기액상폭을 $80\mu\text{m}$ 라고 가정하여 액상소멸 완료시간 t_f 를 계산하면, t_f 는 약 14ks이었다.

그러나, 본 실험에서는 2.5ks라는 짧은 시간에 액

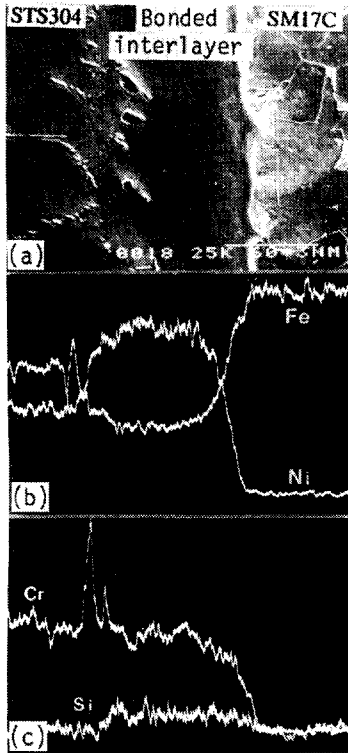


Photo. 3 SEM structures of bonded interlayers and its result of EDX

Base metal : STS304 - SM17C

Insert metal : MBF-80

Bonding condition : 1473K×2.5ks(133mpa)

상이 소멸하였다. 이것은 스테인레스강과 구조용탄소강의 접합에서 액상의 소멸현상은 용점저하원소의 체확산에 의한 것 뿐만 아니라 또 다른 현상에 의해 일어난다는 것을 시사한다. 이 현상은 스테인레스강 쪽의 접합계면부와 입계에 존재하는 생성상과 깊은 관련이 있을 것으로 생각된다. 즉 액상 삽입금속이 우선적으로 모재의 입계에 반응하여 용융한 후, 액상은 입계를 타고 침투하고 이 입계에서 3차원으로 체확산이 일어나, 액상이 아주 빨리 소멸하는 것으로 사료된다.

등온응고 완료한 시점에서 접합부 근방의 원소 분포를 조사하기 위하여 EDX 분석을 행하였다. Photo. 3은 MBF-50을 사용하여 1473K×2.5ks의 조건으로 STS304-SM17C를 접합한 시료의 SEM조직과 EDX 분석 결과이고, Photo. 4는 MBF-80을 사용하여 1473K×2.5ks의 조건으로 STS304-SM45C를 접합

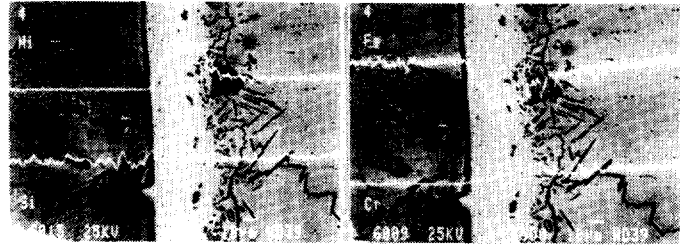


Photo. 4 SEM structures of bonded interlayers its result of EDX

Base metal : STS304-SM45C

Insert metal : MBF-80

Bonding condition : 1473K×2.5ks(133mpa)

한 시료의 SEM조직과 EDX 분석 결과이다. 접합부에서 Ni농도는 양 모재에 비하여 높고, Fe 및 Cr농도는 접합부와 스테인레스강과 거의 같고, Si농도는 접합부가 양모재보다 약간 높다. 또한 탄소강측의 삽입금속의 계면 근방에서는 Fe의 농도가 증가되고 있고, 이와 반대로 Cr 및 Ni의 농도는 감소되어 있다. 이것은 액상 삽입금속에 의한 모재의 용융반응과 접합온도로 유지하는 동안의 상호확산에 의한 결과라고 생각된다.

3. 2. 접합부 조직에 미치는 제인자의 영향

Photo. 5은 접합부 조직에 미치는 모재 및 접합온도의 영향을 MBF-80를 사용하여 검토한 결과를 나타낸 것이고, 등온응고 완료 후의 조직이다. 이것으로부터 접합온도가 낮을수록 스테인레스강쪽의 접합계면에 생성상이 많이 존재하고, 입계에 존재하는 생성상의 깊이도 깊은 것을 볼 수 있다. 이와같은 경향은 SM17C와 SM45C 모두 동일한 것으로 판단된다.

Photo. 6은 모재 및 MBF시리즈인 삽입금속의 종류에 따른 등온응고 완료 후의 접합부 조직을 비교한 것이다. MBF-30 및 MBF-80은 접합부의 폭도 넓고, 접합계면 및 입계에 많은 생성상이 존재하지만, MBF-35 및 MBF-50은 접합부의 폭도 좁고, 접합계면 및 입계에 존재하는 생성상의 양도 적고 깊이도 얇다. 즉 B량이 많을수록 접합부의 폭도 넓고, 접합계면 및 입계에 많은 생성상이 존재하는 것을 알 수 있고, 특히 B량이 제일 적은 MBF50이 가장 적게 존재함을 볼 수 있다. 이 현상은 Si양 보다도 B양에 의존하는 것으로 사료되고, 생성상은 분화물일 것으로 예

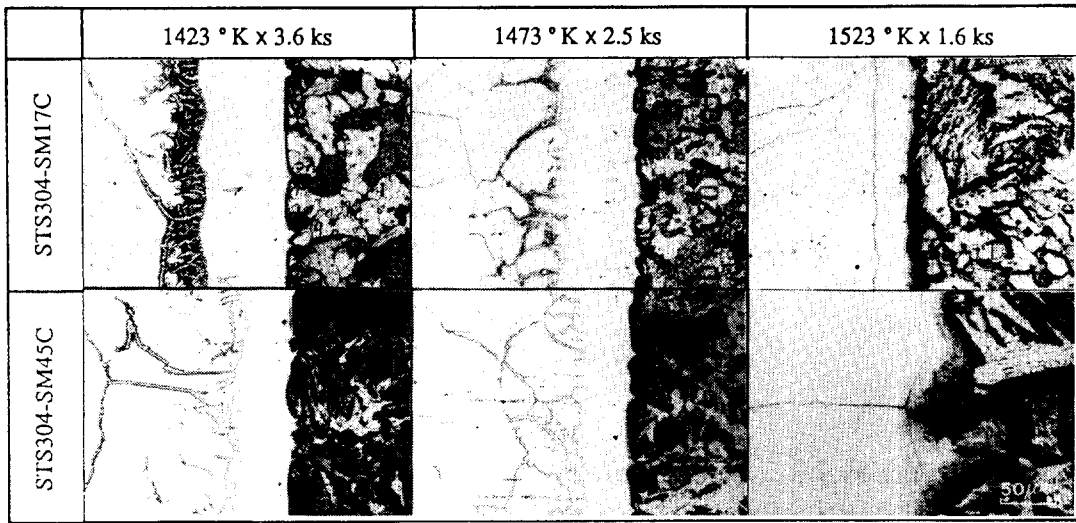


Photo. 5 Effects of bonding temperature on optical microstructures of bonded interlayers
 Insert metal : MBF-80

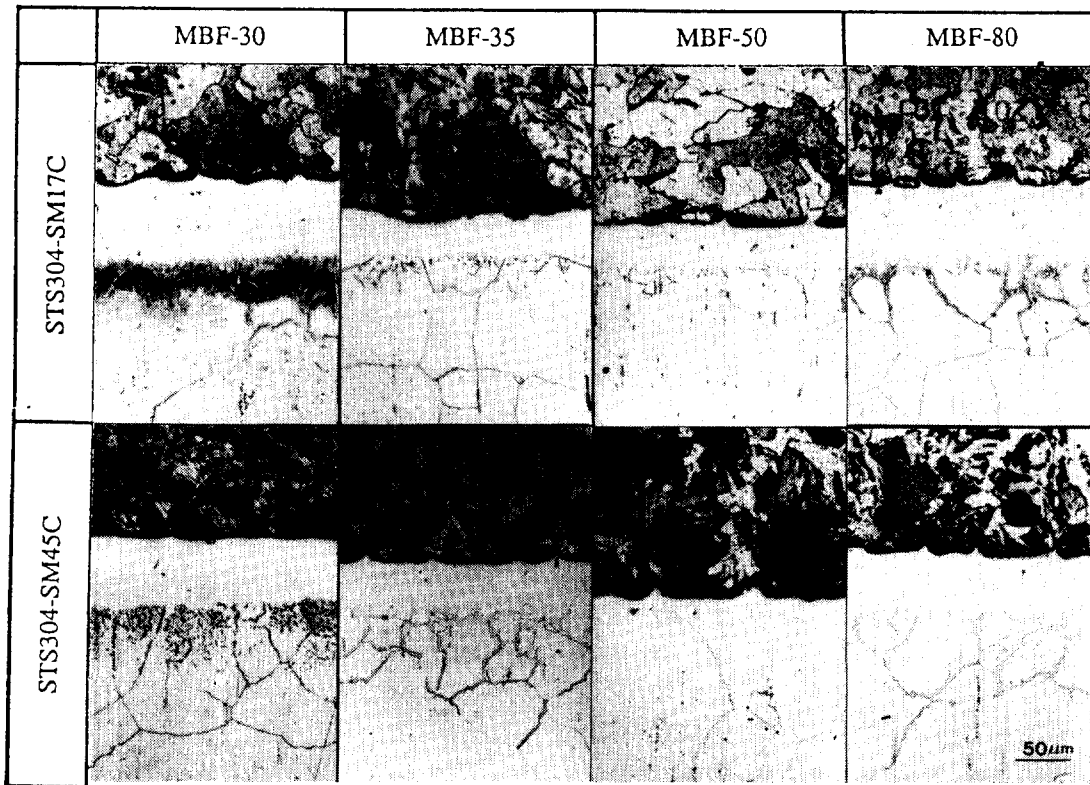


Photo. 6 Effects of insert metals(MBF series) on optical microstructures of bonded interlayers
 Bonding condition : 1473K x 2.5ks(133mpa)

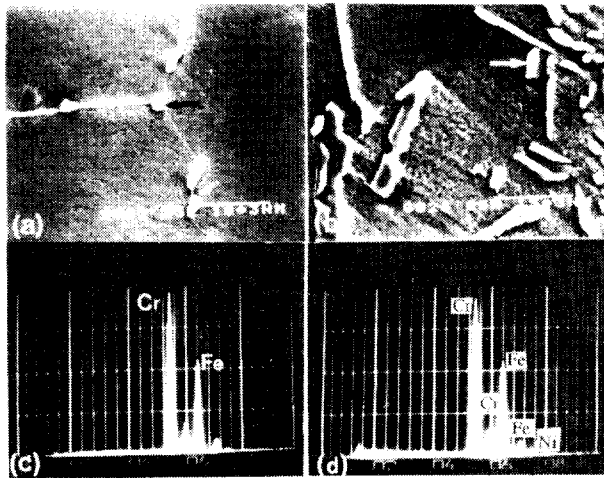


Photo. 7 SEM structures of (a) precipitates at grain boundary of bonded interlayers and (b) ones in grain and its result (c), (d) of EDX respectively

Base metal : STS304 - SM45C

Insert metal : MBF-80

Bonding condition : 1423K×3.6ks(133mpa)

상되었다.

따라서, 접합계면의 생성상 및 입계에 존재하는 생성상이 무엇인지를 알기 위해서 성분 분석을 행하였다. Photo. 7은 SM45C를 MBF-80의 삽입금속을 사용하여 1423K×3.6ks의 조건으로 접합한 시험편의 SEM조직과 EDX를 사용하여 생성상을 분석한 결과이고, (a) 및 (b)는 각각 입계 및 접합계면의 입계에 존재하는 생성상의 조직이고, (c) 및 (d)는 각각 (a) 및 (b)에 화살표로 표시된 생성상을 분석한 결과를 나타낸 것이다. Photo. 8은 상기 시험에 대해서 EPMA를 사용하여 성분분석한 결과이다. 이상의 결과로부터, 접합계면 및 입계에 존재하는 생성상은 Cr계 탄화물인 것으로 생각된다.

생성상의 정확한 조성을 확인하기 위하여 단면조직으로 부터 추출replica를 만들어, TEM을 사용하여 동정하였다. Photo. 9는 대표적인 생성상의 TEM조직, 회절반경 및 해석 결과를 나타낸다. 이 결과로부터 입계 생성상은 Cr을 주제로 한 $M_{23}(C, B)_6$ 임을 알 수 있다.

Fig. 3은 MBF-80(100 μ m)을 사용하여 1423K×3.6ks의 조건으로 STS304와 SM17C를 접합한 시험편을 접합계면 근방을 평행하게 절단하고, 접합계면이

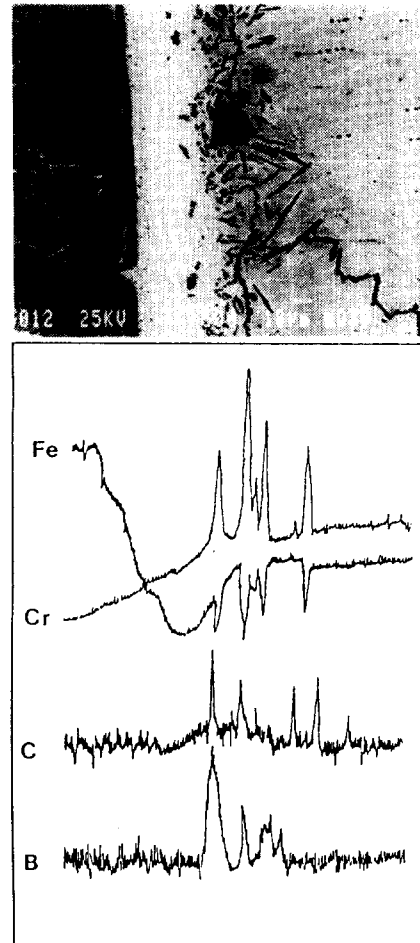


Photo. 8 SEM structure and EPMA analysis

Base metal : STS304 - SM45C

Insert metal : MBF-80

Bonding condition : 1423K×3.6ks(133mpa)

나타나도록 연마와 부식을 반복하여 단면조직과 동일한 조직이 나타나게 한 시험편을 XRD로 동정한 결과이다. 이것으로 부터, 생성상들은 $M_{23}(C, B)_6$ 및 Cr_2B 임을 알 수 있다.

이러한 생성상은 기계적 성질 및 내식성 등에 상당한 악영향을 미칠 것으로 예상된다. 그래서, 접합계면 및 입계에 $M_{23}(C, B)_6$ 의 생성을 억제할 목적으로 MBF-50의 B 함유량 보다 낮은 0.5wt% 및 1.0wt%의 B를 첨가하고, 용점을 낮추기 위하여 Si 함유량을 4.0-8.0wt%로 변화시키고 기계적 성질 및 내식성을 향상시키기 위해 Cr을 18wt% 첨가시킨 새로운 삽



Photo. 9 TEM structure of precipitates at grain boundary of bonded interlayers

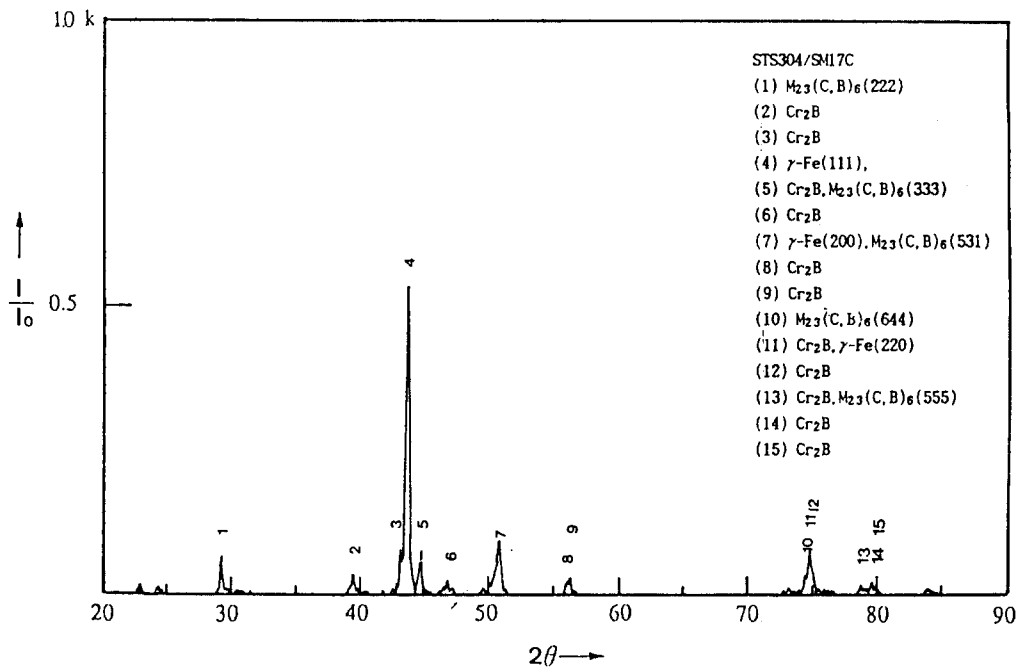


Fig. 3 Result of X-ray diffraction analysis on bonded interlayer
Bonding condition : 1423K × 3.6ks, Insert metal : MBF-80

입금속을 제조하였다. 삽입금속의 화학조성은 Table 2에 BS시리즈로서 표시하였다.

이 중에서 B함유량이 적고, Si 함유량이 적은 BS-054 및 BS-104는 용점이 높아 접합상태가 불량하였다.

Photo. 10은 제조된 4종류의 삽입금속을 사용하여 SM17C 및 SM45C를 1473K × 2.5ks의 조건으로 접합한 접합부의 광학현미경 조직이다. 이것으로부터, Si의 함유량과 관계없이 B함유량이 0.5%인 BS-

056(0.5%B-6.0%Si) 및 BS-058(0.5%B-8.0%Si)에서는 접합계면 및 입계에 $M_{23}(C, B)_6$ 이 거의 보이지 않고, BS-106(1.0%B-6.0%Si) 및 BS-108(1.0%B-8.0%Si)에서도 생성된 양은 아주 적음을 알 수 있다.

이상의 결과로부터, STS 304와 SM17C 및 SM45C를 접합할 경우, B 함유량을 1.0wt% 이하로 하고 Si를 4.0-8.0% 첨가한 BS시리즈의 삽입금속은 접합계면 및 입계에서 $M_{23}(C, B)_6$ 의 생성을 억제할

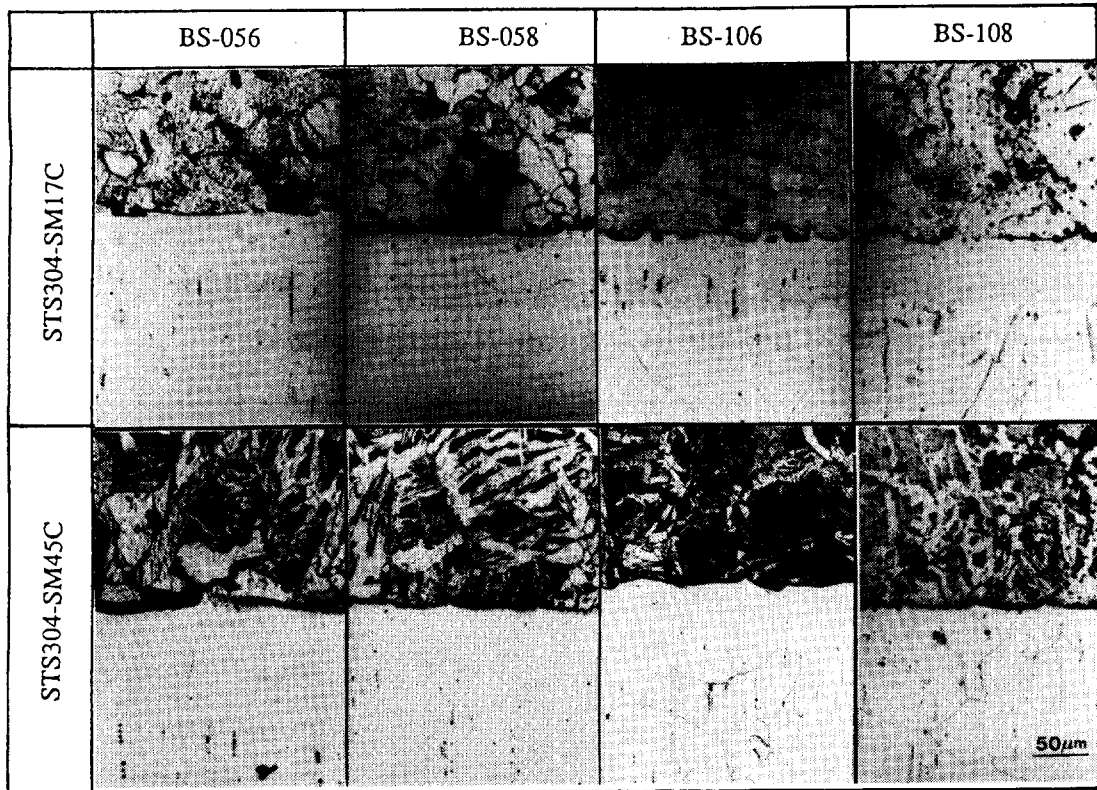


Photo. 10 Optical microstructures of bonded interlayers by insert metal prepared
Bonding condition : 1473K×2.5(133mpa)

수 있음을 알 수 있었다.

3.3. 접합이음부의 경도분포 및 인장성질

접합부의 조직, 즉 STS 304의 계면 및 입계에 존재하는 탄봉화물의 양으로 부터 비교 검토한 결과, 시판용 삼입금속인 MBF시리즈는 MBF-50이, 본실험에서 제조한 BS시리즈는 BS-058, BS-106, BS-108이 접합상태가 양호한 것으로 판명되었다. 그래서 스테인레스강과 구조용 탄소강과의 접합에 가장 적절한 삼입금속의 조성을 밝히기 위하여, 상기 삼입금속으로 접합한 시험편에 대해서 경도와 인장성질을 비교 검토하였다. 접합은 1473K×2.5ks의 조건으로 하였다.

Fig. 4은 STS 304와 SM17C를 접합한 경우, Fig. 5은 STS304와 SM45C를 접합한 경우, 접합부 근방의 경도분포를 나타낸 것이다. 삼입금속 및 모재의 조합에 관계 없이 접합부와 STS 304의 계면에서 최고 경도값이 나타나고, 계면근방의 STS 304에서 약간

높은 값을 나타내고 있다. 이것은 미세한 탄봉화물의 식출에 의한 것으로 추측된다.

Fig. 6은 STS 304와 SM17C를 접합한 경우, Fig. 7은 STS304와 SM45C를 접합한 경우, 접합이음부의 인장성질에 미치는 삼입금속의 영향과 접합분위기의 영향을 나타낸 것이다. 여기서, 접합분위기의 영향으로서는 진공 및 Ar분위기를 사용하여 검토하였다. Photo. 11은 인장시험으로 파단된 시험편의 사진으로, (a)는 STS 304와 SM17C를 BS-058로 접합한 것이고, (b) 및 (c)는 STS 304와 SM45C를 각각 MBF-50 및 BS-106으로 접합한 것이다.

STS 304와 SM17C와 접합의 경우, MBF-50의 것은 BS시리즈의 것에 비해 파단강도와 인장강도가 거의 동일하고, 연성이 약간 낮음을 알 수 있다. 이것은 계면 및 입계의 탄봉화물의 영향에 의한 것으로 사료된다. 모든 시험편은 Photo. 11의 (a)에서와 같이 접합계면 근방에서 파단되었다. 그러나, SM17C의 인장

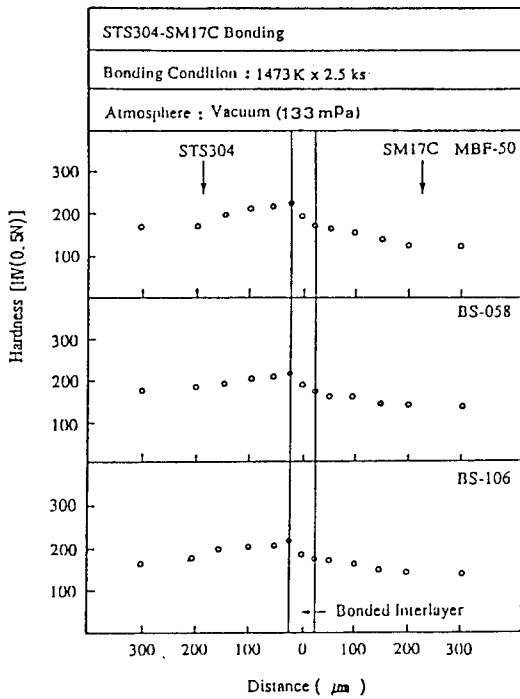


Fig. 4 Change of hardness during bonding of STS304 stainless steel and SM17C steel

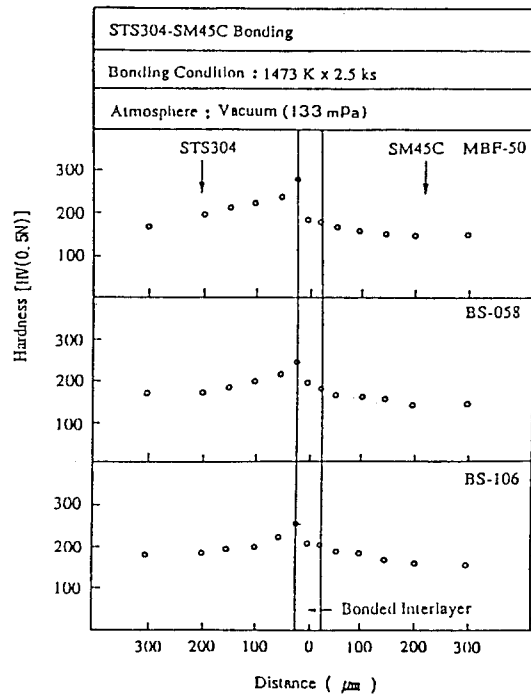


Fig. 5 Change of hardness during bonding of STS304 stainless steel and SM45C steel

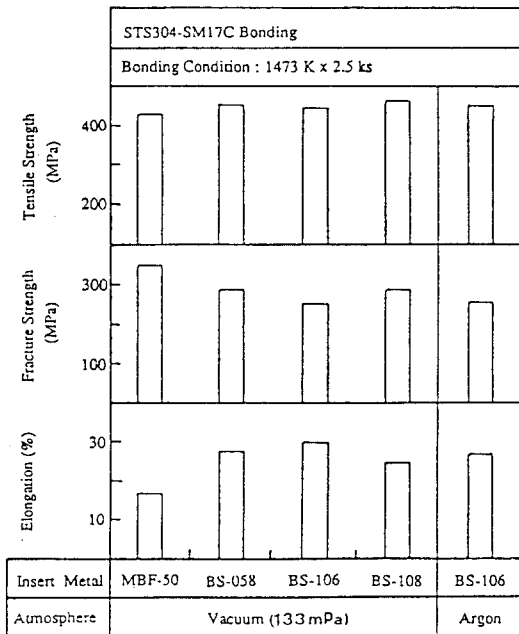


Fig. 6 Change of tensile properties during bonding of STS304 stainless steel and SM17C steel

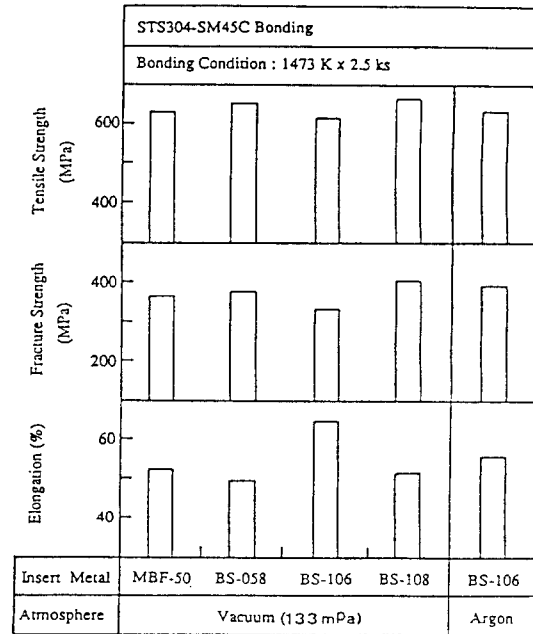


Fig. 7 Change of tensile properties during bonding of STS304 stainless steel and SM45C steel

강도가 400-490MPa인 것을 고려한다면, 모든 시험편의 접합강도는 모재의 요구 강도를 만족한다고 볼 수 있다. 특히, Ar분위기에서 접합한 시험편도 진공 분위기의 것과 대등한 인장성질을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

STS 304와 SM45C와의 접합의 경우, 모든 시험편이 Photo. 11의 (b) 및 (c)에서와 같이 스테인레스강의 모재에서 파단되었고, 아주 양호한 결과가 얻어졌다. 특히, Ar분위기에 접합한 것도 같은 결과가 얻어졌다.

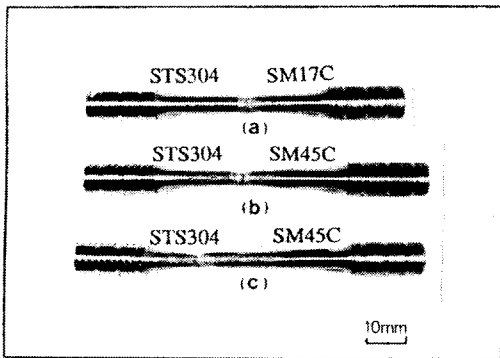


Photo. 11 Macro photographs of tensile test specimen(bonding condition 1473K×2.5ks)

- (a) STS304-SM17C bonding(BS-058)
- (b) STS304-SM45C bonding(MBF-50)
- (c) STS304-SM45C bonding(BS-106)

이상의 결과로부터, B 농도가 낮은 MBF-50 및 BS시리즈를 사용하여 STS 304와 구조용탄소강을 1473K×2.5ks조건으로 진공(133mPa)중에서 접합하면 모재에 필적하는 접합강도를 얻을 수 있고, 더우기 Ar분위기로 접합하여도 같은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

4. 결 론

오스테나이트 스테인레스강인 STS 304와 구조용탄소강인 SM17C 및 SM45C를 시판되고 있는 Ni기 비정질 합금을 삽입금속으로 접합한 경우, 기초적인 접합현상을 파악함과 동시에 접합성을 검토하였다. 이 결과를 기초로 하여, 새로운 조성의 삽입금속을 제작하고, 이 삽입금속의 접합성도 검토하였다. 얻어진 결

과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 액상 삽입금속에 의한 모재의 용융량은 B함유량이 많은 삽입금속일수록 많고, B함유량이 적은 MBF-50(1.5%)경우는 거의 용융하지 않았다.

(2) 모재의 조합 및 삽입금속의 종류가 다름에도 불구하고, 액상은 유지시간의 증가에 따라 감소하여, 1423K에서 3.6ks, 1473K에서 2.5ks, 1523K에서 1.6ks로 유지하면 액상이 완전히 소멸하였다. 이 시간들은 용점저하원소가 모재로 체확산하여 액상이 소멸한다는 등온응고 이론으로 계산한 시간보다 아주 짧다. 이것은 접합초기에 액상이 스테인레스강의 입계에 침투하고, 이 입계에서 B이 3차원적으로 체확산하여 일어나므로 빠른 것으로 생각되어졌다.

(3) 등온응고시에 고상의 성장은 STS 304에서 성장하여 최후에 탄소강 부근에서 입계가 형성되었다.

(4) 삽입금속의 Si함유량에 관계없이 B함유량이 많을수록, 등온응고과정에서 접합부와 STS 304의 계면과 접합부 근방의 STS 304입계에 많은 생성물이 존재함을 알 수 있었다. 이 생성물은 EPMA 및 TEM으로 분석 및 동정한 결과 Cr, Fe을 주체로 하는 $M_{23}(C, B)_6$ 이었다.

(5) 본 실험에서 제조한 B함유량이 0.5 및 1.0%, Si함유량이 6.8%인 삽입금속은 계면 및 입계에 $M_{23}(C, B)_6$ 의 생성을 억제할 수 있었다.

(6) 접합부 근방의 경도 분포는 모재의 조합 및 삽입금속의 종류에 관계없이 STS 304와 접합부의 계면에 최고 경도값을 나타내고, 계면근방의 STS 304에서 다소 높았다. 이것은 미세한 탄화물의 석출에 기인한 것으로 생각된다.

(7) 농도가 낮은 MBF-50 및 B함유량이 0.5 및 1.0%, Si함유량이 6.8%인 본 연구에서 제조한 BS시리즈를 사용하여 STS 304와 구조용 탄소강인 SM17C를 1473K×2.5ks의 조건으로 진공(133mPa)중에서 접합하면, SM45C에서는 전부 모재에서 파단하였고, SM17C에서는 양호한 인장성질을 얻을 수 있었다. 더우기 Ar분위기로 접합하여도 같은 결과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

- 1) D.S. Duvall: a New Method for Joining heat Resistance Alloys, Welding Journal, Vol. 53,

- No. 4, (1974), pp. 203s-214s.
- 2) 鈴村, 他: 耐熱合金 Inco. 713C의 TLP Bonding に関する研究, 日本溶接學會誌, 第47卷, 第3號, (1978), pp. 162-166.
 - 3) 鈴村, 他: 液相擴散接合性に及ぼす金屬のアモルフス化の効果, 日本溶接學會論文集, 第3卷, 第2號, (1985), pp. 32-327.
 - 4) 大橋 田沼: γ 析出硬化型Ni基鑄造合金の液相インサート擴散溶接部の γ の析出に及ぼす因子, 日本溶接學會誌, 第51卷, 第1號, (1982), pp. 69-75.
 - 5) 平根, 森本: ODS合金(MA 754)の液相擴散接合, 鐵と鋼, 第7卷, 第12號, (1984), pp. 339-345.
 - 6) 井川, 中尾: Ni基鑄造合金の液相インサート擴散接合法の機構に関する研究, 日本溶接學會誌, 第47卷, 第7號, (1978), pp.440-445.
 - 7) 鈴村, 恩澤: 各種Ni基造合金のTLP接合性の比較, 日本溶接學會誌, 第49卷, 第7號, (1980), pp. 462-466.
 - 8) 上野, 渡邊: 液相擴散接合法による二重管の試作, 鐵と鋼, 第73卷, 第5號, (1987), pp. 271-271.
 - 9) 中尾, 姜: 液相インサート金屬による母材の熔融現象, 日本溶接學會論文集, 第6卷, 第4號, (1988), pp. 519-526.
 - 10) 姜, 中尾: 液相インサート金屬擴散接合部の組織學的檢討, 日本溶接學會論文集, 第7卷, 第3號, (1989), pp. 367-373.
 - 11) 三浦: 液相擴散接合法の鋼管への應用, 日本溶接學會講演概要, 第41集, (1987), pp. 39-40.
 - 12) 小溝: Fe基およびNi基急冷凝固薄帶を用いたステンレス鋼管の接合, 日本溶接學會論文集, 第8卷, 第2號, (1990), pp. 197-204.
 - 13) 川勝, 北山: ステンレス鋼のNi-Pメッキによる液相擴散接合について, 日本金屬學會誌, 第41卷, 第9號, (1977), pp. 904-911.
 - 14) 小鳥, 上野: 液相擴散接合法による二重管の試作 日本溶接學會講演概要, 第41集, (1987), pp. 42-43.
 - 15) 小鳥, 上野: ステンレス鋼ト炭素鋼の液相擴散接合, 界面接合委員會資料, 第6會, (1986), IJ-27-86.
 - 16) 中橋, 山崎: 鐵基ワイラ-メタルを用いた鐵鋼材料の液相擴散接合, 日本學術振興會耐熱金屬材料第123委員會研究報告, Vol. 25, No. 1 (1985), pp. 121-129.
 - 17) 鈴村, 恩澤, 田村: 鐵基耐熱合金 A286の液相インサート擴散接合, 日本溶接學會誌, 第50卷, 第7號, (1981), pp. 646-652.
 - 18) 田中: Ti合金の液相擴散接合, 日本溶接學會講演概要, 第41集, (1987), pp. 58-60.
 - 19) Ortrud Kubaschewski: IRON Binary Phase Diagrams, Springer-Verlag Berlin p.16.