

천이액상확산접합에 의한 합금공구강의 접합특성

권병대* · 이원배** · 김봉수** · 홍태환*** · 서창제** · 정승부**

* 서울공업고등학교 금속과

** 성균관대학교 신소재공학과

*** 충주대학교 재료공학과

Joinability of Tool Steels by TLP Bonding

Byung-Dae Kwon*, Won-Bae Lee**, Bong-Soo Kim**, Tae-Whan Hong***, Chang-Chae Shur**
and Seung-Boo Jung**

*Dept. of Metallurgy, Seoul Technical High School, Seoul 156-810, Korea

**Dept. of Advanced Materials Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

***Dept. of Materials Science and Engineering, Chungju National University, Chungbuk 380-072, Korea

Abstract

The mechanical properties of STD11 joints by using TLP (Transient Liquid Phase Diffusion) bonding method employing MBF-30 and MBF-80 insert metals were investigated with concerning to the microstructural change. TLP bonding of STD 11 was carried out at 1323~1423K for 0.6ks~3.6ks in vacuum.

The microstructure and the element distribution of the interlayer between tool steels and insert metals showed specific feature with bonding conditions. It was found that the width of the interlayer increased at initial bonding stage. However, the width of interlayer showed nearly constant value during the isothermal solidification. After isothermal solidification was completed, the joint showed homogeneous element distribution and similar microstructure with base metal because of the grain boundary migration to the bonded interlayer.

The bonding strength measured by a tensile test has been varied with the bonding conditions. The maximum joint strength, 760MPa, was obtained with the condition of 1423K for 1.2ks using MBF30 insert metal in this experiment.

* Corresponding author : sbjung@skku.ac.kr

(Received February 10, 2003)

Key Words : TLP bonding, MBF 30, MBF 80, Bonding strength, STD11

1. 서 론

현대산업이 복잡해지고 과학기술이 고도로 발달함에 따라 각종 산업분야에서는 제품의 고부가가치화를 창출하기 위하여 제품의 경박단소화 추세로 인해 부품의 가공이 더욱 복잡해 짐에 따라 고도의 정밀도를 요구하는 접합가공기술의 필요성이 대두되고 있다. 또한 산업분야에서 아크용접, TIG용접, 전자빔용접 등의 용융용접으로 곤란한 고강도 내열 및 내식성이 우수한 초내열합금, 전기, 전자, 자기적 성질이 우수한 기능성 재료의 접

합 가공기술에 대한 요구가 급증하고 있는 실정이다¹⁻⁴. 이러한 요구에 부응하기 위해서 모재를 용융시키지 않고 2개의 물체를 접합하여 우수한 강도를 얻을 수 있는 천이액상확산접합법⁵⁻⁷, 고상확산법, 마찰교반용접법등 고정밀 접합가공기술에 대한 연구가 최근 각광을 받고 있다.

1970년대 D. S. Duval등에⁸) 의해 개발된 천이액상확산접합법(Transient Liquid Phase Bonding)은 접합 후 형태 변화를 크게 감소시킬 수 있어서 두께가 다르거나 물성이 상이한 이종금속이라도 접합이 용이하고 열영향부가 작은 특성이 있으며 주로 Ni기 또는 Co기

초내열합금의 항공기 엔진 부품 및 가스 터빈의 제작에 사용되고 있으나, 범용의 철강재료에 있어서 이 방법을 적용한 예는 그리 많지 않다⁹⁾.

금형용강으로 많이 사용되고 있는 STD11강은 일반적으로 상온 및 고온 경도가 높고 내 마모성 및 내식성 등이 우수한 특성을 가지고 있다. 이러한 합금공구강에 대해 용융용접을 행할 경우, 용접부에 용접 균열이 발생할 우려가 크고 STD11강이 지니고 있는 우수한 제 특성을 소멸시킬 수 있으므로 큰 문제점으로 지적된다¹⁰⁾.

따라서, 본 연구에서는 비정질 Ni기 합금인 MBF30 및 MBF80계를 삽입금속으로 선정하여 천이액상확산 접합법을 이용하여 접합을 행한 후 접합조건에 따른 접합부의 미세조직 변화 및 기계적 특성을 평가하여 접합부의 신뢰성을 검증하였다.

2. 실험방법

2.1 사용재료 및 접합 조건

본 연구에서 사용된 재료는 내충격 및 내마모성을 중시하는 게이지, 트리밍다이, 나사전조(轉造), 다이사용 등에 사용되는 냉간금형용 합금공구강인 $\phi 13\text{mm}$ STD11을 사용하였다. 접합에 사용된 삽입금속은 Ni에 용점을 낮추기 위하여 공정조성을 이루는 B, Si을 첨가한 MBF-30(용점:1313K) 및 기계적 성질을 증가시킬 목적으로 Cr을 첨가한 MBF-80(용점:1357K)을 선정하였다. Table 1에 STD11강 및 삽입금속의 화학조성을 나타내었다.

접합하고자 하는 모재의 표면을 연마하여 삽입금속과 함께 초음파 세척하였다. 본 실험에서 사용된 접합장치는 Fig. 1에 나타냈다. 접합은 5×10^{-4} Torr의 진공분위기에서 실시하였고, 모재의 기계적인 성질변화를 최소화하기 위해 고주파 유도로 이용하여, 11K/s의 가열 속도로 승온하였다. 또한 실험에서 사용되는 시편의 접합온도는 1323-1423K, 접합시간은 0-3.6ks의 범위에서 실시하였다.

Table 1 Chemical compositions of base metal and insert metal. (wt%)

		Ni	C	B	Si	Mn	Cr	Mo	Cu	Fe
Base metal	STD11	-	1.40 ~ 1.60	-	<0.01	<0.01	11.0 ~ 13.0	0.80 ~ 1.20	0.20 ~ 0.50	Bal
		MBF30	Bal	-	3.00	4.40	-	-	-	-
Insert metal	MBF80	Bal	-	3.70	-	-	15.5	-	-	-

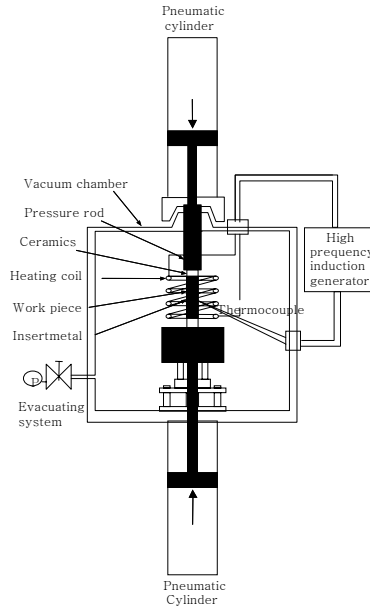


Fig. 1 Schematic diagram of bonding apparatus

2.2 미세조직 관찰 및 상분석

접합부의 미세조직은 광학현미경(Optical Microscopy)과 SEM(Scanning Electron Microscopy)을 이용하여 관찰하였으며, EPMA (Electron Probe Micro Analyzer)를 이용하여 접합조건에 따른 접합계면의 성분 변화를 분석하였다. 또한 XRD(X-ray diffraction)를 이용하여 접합부의 생성물을 조사하였으며 이 때의 가속전압은 30KV 80mA, scanning speed는 60°/min로 하였다.

2.3 경도 및 인장시험

경도측정은 Micro-Vickers경도기를 이용하여 200g의 하중으로 접합부를 수직으로 절단한 단면을 접합부에서 양 모재쪽으로 30 μm 간격으로 이동하면서 측정하였다. 또한 인장강도 측정을 위한 시험편은 ASTM E-8 규격에 준하여 제작 하였으며, 만능 인장시험기를 사용하여 3×10^{-2} /s의 스트레인 속도 하에서 실험을 행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 접합부의 미세조직 및 생성상의 동정

Fig. 2는 MBF-30 및 MBF-80의 삽입금속을 사용하여 접합온도 1373K, 접합시간 0.6~3.6ks의 조건에서 접합을 행한 후 접합부에 대한 조직 관찰 및 EPMA 분석 결과를 나타낸 것이다. MBF-30과 MBF-80 모두 접합시간의 증가에 따라 접합부내 액상

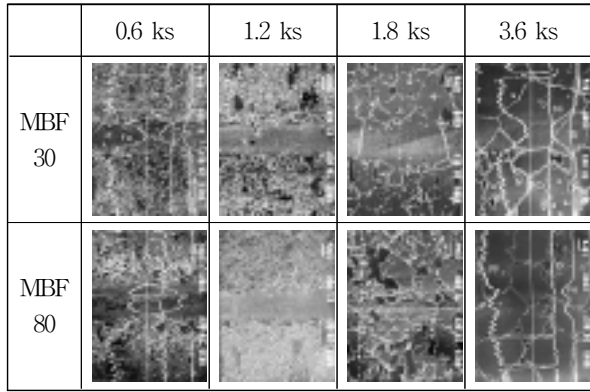


Fig. 2 SEM micrographs and EPMA analysis of interlayer for joints bonded at 1373K

이 점차적으로 감소하고 있음을 알 수 있다. MBF-30 삽입금속을 사용한 경우, 접합시간 0.6ks에서 접합부내 액상은 사라지고 등온응고가 완료되었으나, MBF-80을 사용한 접합부에서는 0.6ks에서는 액상이 잔존하고 1.2ks의 접합시간에서 액상이 완전히 사라진 것을 알 수 있다. 한편, 등온응고 완료후의 접합부 조직을 보면, MBF-30의 접합부에서는 1.8ks의 접합시간에서는 접합부내에 직선적인 입계가 형성되고, 접합부의 구분이 확실하였으나, 접합 접합시간이 증가하여 3.6ks의 접합시간에서 접합부는 균질화과정을 거치면서 접합부에는 모재와 거의 동일한 조직이 형성되었다. MBF-80의 접합부에서는, 접합시간 1.8ks에서도 모재와 거의 동일한 접합부 조직을 나타내었다. Fe와 Ni의 EPMA 분석결과에서 알 수 있듯이, 3.6ks의 접합시간에서 MBF-30을 사용한 접합부에 비해 MBF-80을 사용한 접합부의 농도구배가 완만한 것을 알 수 있다. 또한, 양쪽 접합부 모두에서 3.6ks의 접합시간에서 접합부는 모재와 거의 동일한 조직을 나타내었으나, MBF-30을 삽입금속으로 사용한 경우, 접합부와 모재에서 Fe와 Ni의 농도구배가 여전히 존재하는 것으로 보아 접합부의 균질화를 위해서는 등온응고 후 균질화 처리시간이 더 필요함을 알 수 있다. 또한, 접합시간이 증가할수록 모재 뿐만 아니라 접합부 근처에서 결정립의 조대화가 일어남을 알 수 있었다.

MBF-30을 사용한 접합부는 MBF-80을 사용한 접합부와 비교하여 접합부내 액상이 소멸하는 등온응고 완료시간은 빠르나, 등온응고 후 접합부의 균질화는 MBF-80 삽입금속을 사용한 경우가 빠르다는 것을 알 수 있었다. 이는 MBF-30이 MBF-80보다 용점이 44K 정도 낮고, 용점저하원소인 B량이 상대적으로 많기 때문에 위의 접합온도로 가열 도중 이미 모재의 용융현상이 활발히 일어나지만, MBF-80은 접합온도가 용점 보다 약간 높기 때문에 접합초기(0.6ks)에 모재

의 용융현상이 덜 일어나므로 순수 삽입금속의 조직이 잔류하는 것으로 생각된다. 그러나 접합중기 (1.2ks)의 액상소멸 과정에서는 동일한 접합온도의 경우, 오히려 B량이 적은 MBF-80이 빨리 일어난 것으로 사료된다.

Fig. 3은 MBF-30을 삽입금속으로 사용한 경우, 접합온도에 따른 접합부의 조직변화를 조사하기 위하여 접합온도 1323K, 1373K, 1423K에서 접합시간을 1.2ks로 일정하게 유지하여 접합한 접합부 조직을 분석한 결과이다. EPMA 분석결과로부터 접합온도가 높을수록 모재와 접합부에서 주요 원소인 Fe, Ni 및 Cr의 농도구배가 줄어들어 점차 접합부의 균질화가 빠르게 진전됨을 알 수 있다. 1423K의 접합온도에서는 접합부의 균질화가 상당히 진행되어 접합부내서는 모재와 유사한 결정입계가 형성됨을 알 수 있다. 이는 접합온도 증가에 따른 모재의 용융량의 증가 및 접합계면을 통한 모재와 접합부에서의 주요원소의 상호확산이 빨라졌기 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 4는 접합온도 1373K, 접합시간 0.6ks에서 삽입금속 MBF-80을 사용하여 접합을 행한 접합부의 접합계면 근방을 XRD를 이용하여 상 분석한 결과이다. 접합시간 0.6ks의 조건에서 접합을 행한 접합부에서는 접합계면에 크롬탄화물($Cr_{23}C_6$)이 생성된 것을 확인할 수 있었다. 이는 삽입금속 MBF-80의 성분원소인 Cr이 접합초기에는 모재 중의 C와 반응하여 크롬탄화물을 생성한 것으로 생각되며, 이들 크롬탄화물은 접합강도에 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다. 타 연구자들의

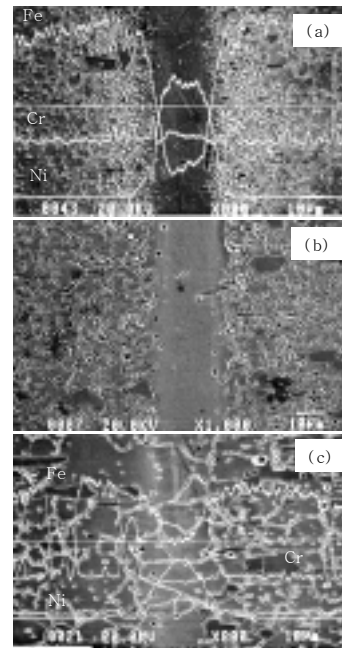


Fig. 3 SEM micrograph and EPMA analysis of interlayer for joints using MBF 30 at 1.2ks bonding time. (a) 1323K (b) 1373K (c) 1423K

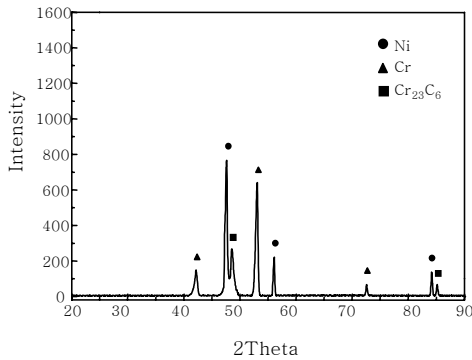


Fig. 4 XRD pattern of interlayer for STD11 joints bonded using MBF-80 at 1373K for 0.6ks

TEM 분석에 의하면 스텐리스강과 MBF 계열의 Ni기 삽입금속의 계면에 크롬계 탄화물이 생성되어 접합부의 인장특성에 악영향을 미친다고 하였으며⁹⁾, 니켈계 초합금을 이와 유사한 삽입금속을 이용하여 접합을 행한 경우도 Cr과 B에 기인한 붕화물이 형성된다고 하였다¹¹⁾. 그러나, 본 연구에서는 붕화물의 존재를 관찰할 수 없었다. 접합부 부근에 형성되는 생성상의 분류 및 생성거동에 대해서는 추후 정밀 분석을 수행할 예정이다.

3.2 접합부의 기계적 특성

Fig. 5는 접합온도 1373K에서 MBF-80 삽입금속을 이용하여 접합한 접합부의 경도 변화를 나타낸 것이다. 전체적으로 모재에 비해 접합부의 경도가 낮은 것을 알 수 있다. 접합시간이 증가함에 따라 접합부의 경도값은 증가하였으나 모재부의 경도값은 약간 감소함을 알 수 있다. 또한, 0.6ks의 접합시간에서는 접합계면에 크롬 탄화물이 생성 되었기 때문에 접합계면 부위에서 부분적으로 높은 경도값을 나타내고 있다. 그러나 접합시간이 증가함에 따라 접합부가 점차적으로 균질화되기

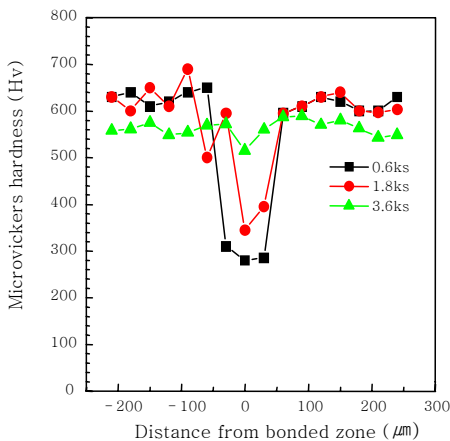


Fig. 5 Hardness distribution of joints using MBF80 bonded at 1373K

때문에 접합부의 경도는 증가하고 있으며, 3.6ks의 접합시간에서의 접합부의 경도는 모재와 거의 유사한 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 접합시간 증가에 따른 모재에서의 경도의 저하는 모재 결정립의 조대화로 인한 것으로 생각된다.

Fig. 6은 접합온도 1373K에서 접합시간의 변화에 따른 접합부의 경도변화를 나타내고 있다. 접합부의 경도는 접합부내에서 측정된 경도를 평균한 값이다. 접합시간이 증가할수록 접합부의 경도값은 점차적으로 증가하였으며, 삽입금속 MBF-80을 사용한 접합부가 MBF-30을 사용한 경우에 비해 접합부의 경도값이 20~70Hv정도 높게 나타났다. 이는 Fig. 2의 접합시간 변화에 따른 미세조직 변화 및 EPMA에 의한 성분변화에서도 언급하였듯이, 접합시간이 증가할수록 접합부 및 모재 성분들의 상호확산으로 접합부의 균질화가 MBF-80을 사용한 접합부가 빠르게 진행되기 때문으로 사료된다.

Fig. 7(a)에는 접합온도 1373K에서 접합한 접합이음부에 대해 접합시간에 따른 인장 강도의 변화를 모재의 인장강도와 비교하여 나타내었다. 접합시간의 증가에 따라 모재의 인장강도는 약간 감소하고 있고, 접합이음부의 인장강도는 점차적으로 증가하고 있다. MBF-80 삽입금속을 사용한 경우, 접합시간 0.6ks에서는 모재 강도의 약 1/3에 머무르고 있으나, 접합시간의 증가에 따라 점차적으로 증가하여, 접합시간 3.6ks에서는 거의 모재와 동일한 인장강도를 나타내었다. MBF-30 삽입금속을 사용한 경우는, 접합시간 1.8ks에서 거의 모재와 동일한 인장강도를 나타내었다. 즉, MBF-80 삽입금속을 사용한 경우는 MBF-30 삽입금속에 비해 균질화 시간은 빠르나, 접합계면에 형성된 크롬탄화물로 인하여 강도저하가 있음을 알 수 있다. Fig. 7(b)는 접합시간 1.2ks에서 접합온도 변화에 따

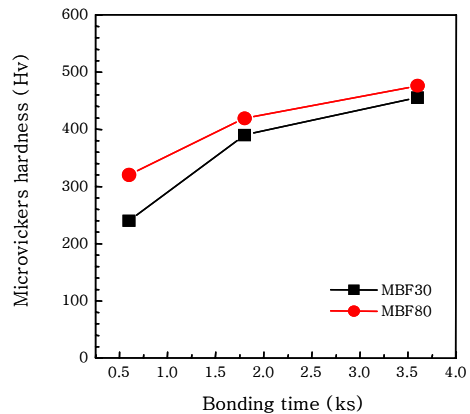


Fig. 6 Microhardness variation at the interlayer with bonding time at 1373K bonding temperature

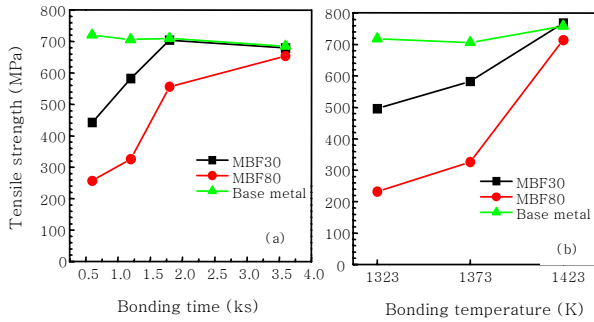


Fig. 7 Effects of bonding time(a) at 1373K and bonding temperature(b) at 1.2ks on tensile strength

른 접합이음부의 인장강도를 모재와 비교하여 나타낸 것이다. 접합온도가 증가할수록 접합이음부의 인장강도는 증가하여 접합온도 1423K에서는 모재와 거의 동일한 인장강도를 나타내었다.

MBF-80을 삽입금속으로 사용하여 접합한 경우, 접합부의 균질화에 걸리는 시간을 단축, 접합온도를 낮출 수 있으나 비교적 높은 함량의 크롬 함유에 따른 탄화물의 생성으로 인하여 MBF-30을 삽입금속으로 이용한 경우에 비해 접합부의 인장특성이 저하함을 알 수 있다. 따라서 접합부의 인장특성만을 고려한 경우 본 실험에서 MBF-30을 삽입금속으로 사용하여 접합온도 1423K, 접합시간 1.2ks에서 접합한 접합체의 인장강도가 760MPa의 가장 높은 접합강도를 얻을 수 있었다.

3.3 파괴양상 및 파단면 분석

본 연구에서 천이액상확산접합한 시험편에 대하여 인장시험을 행한 후 인장시험편의 파단면을 관찰한 결과, Fig. 8과 같이 2가지 형태의 파괴양상이 나타남을 알 수 있었다. 즉, 인장시험편은 시험조건에 따라 크게 모재 파단과 접합부 파단으로 구별할 수 있다. 모재 파단의 경우 모재와 접합부간의 균질화 과정이 어느 정도 진행된 접합이음부에서의 파괴 양상이었으며, 접합이음부의 인장강도가 480MPa 이상이였다. 그러나 모재와

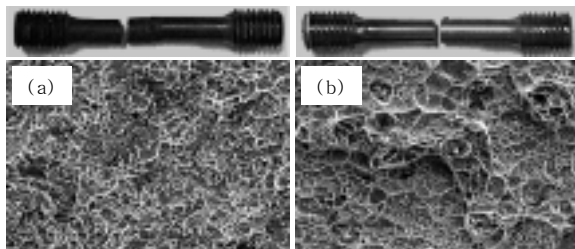


Fig. 8 SEM fracture surface on (a) base metal, (b) the interlayer

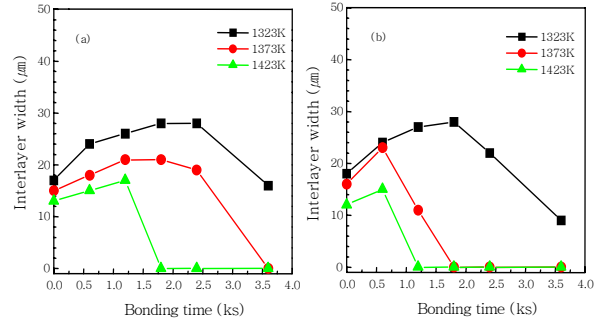


Fig. 9 Effect of the bonding time on the interlayer width with temperature for joints bonded insert metals (a) MBF30 and (b) MBF80

삽입금속간의 반응이 미비하게 진행된 접합초기의 접합체에서는 접합부에서 파단이 발생하였고 인장강도값이 낮게 나타났다. 모재에서 파단이 일어난 경우(Fig.9(a)) 전형적인 연성파괴의 양상인 딤플(dimple) 파괴 양상을 보이고 있음을 확인 할 수 있었다. 접합계면에서 파단이 일어난 경우(Fig. 9(b)) 파단면은 연성파괴의 양상을 보이고 있으나 입내에는 미세한 제2상의 존재를 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 접합강도가 우수한 STD11강의 접합부를 얻기 위하여 비정질 Ni기 삽입금속(MBF-30 및 MBF-80)을 사용하여 천이 액상 확산 접합을 행한 후 접합부의 미세 조직 및 기계적 특성평가를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 용융된 삽입금속내의 Ni와 모재의 Fe 농도 분포가 상대적 관계를 가지면서 반응층을 생성하며 접합시간이 경과함에 따라 접합부의 폭이 증가하다가 일정시간 동안 거의 일정한 접합부의 폭을 유지한 후 균질화 과정을 거치면 접합부와 모재가 거의 동일한 조직 및 성분을 가지게 되는 접합과정을 보였다.

2) MBF80 삽입금속을 사용한 접합부에서는 모재와 접합부의 접합계면에서 크롬탄화물(Cr₂₃C₆)이 생성되었으며 크롬탄화물의 생성으로 인해 MBF-30에 비해 접합초기의 경도값은 상승되었으나 접합강도의 저하를 초래하였다.

3) 접합강도는 접합시간과 접합온도가 증가함에 따라 증가하였으며 삽입금속 MBF-30을 사용한 접합체가 더욱 높은 접합 강도를 얻을 수 있었다. STD11강을 MBF-30 삽입금속을 사용하여, 접합온도 1423K, 접합시간 1.2ks로 접합할 경우, 모재의 인장강도와 거의

동일한 인장강도값을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Y. Nakao and C.Y.Kang: Welding and Bonding of Superalloys, J. KWS, **Vol.8** (1990), 8-17 (in Korean)
2. A. Suzumura, T. Onzawa and H. Tamura: J. JWRI, **Vol.50** (1981), 646-652
3. D. Kim: J. Kor. Inst. Met. & Mater., **Vol.39** (2001), 712 (in Korean)
4. D. Kim: J. Kor. Inst. Met. & Mater., **Vol.39** (2001), 589 (in Korean)
5. J. P. Jung and C. S. Kang: Liquid Phase Diffusion Bonding Procedure of Rene80/Rene80 System, Journal of KWS, **13-2** (1995), 132-138 (in Korean)
6. A. Suzumura, T. Onzawa and H. Tamura: Effect of using Amorphous Interlayers on Liquid Phase Diffusion Welding process, Trans. JWRI, **Vol. 3** (1985), 85-91 (in Japanese)
7. H. Masumoto, M. Serino, K. Nishio, A. Asada and S. Mukae: Formation of Diffusion Layer and Joint strength, Trans. JWRI, **Vol.6** (1988), 104-110 (in Japanese)
8. D. S. Duvall, W. A. Owczarski and D. F. Paulonis: AWS, **Vol.2** (1973) 203-214
9. W. Y. Kim *et al.* : J. KWS, Vol.9 (1991), 28-39(in Korean)
10. Y. Nakajima, H. Esaki, M. Tobioka and M. Tokizane: Journal of Japan Welding Society, **51-3**(1987), 223-233 (in Japanese)
11. D. Kim and S. B. Jung: J. Kor. Inst. Met. & Mater., **Vol.39** (2001), 1163-1170(in Korean)