



신개발 Ni-3Cr-4Si-3B 삽입금속으로 액상확산접합한 내열주강 접합부의 특성

김 대 업*

* 현대 MOBIS(주) 기술연구소

Characteristics of Liquid Phase Diffusion Bonded Joints Using Newly Developed Ni-3Cr-4Si-3B Insert Metal of Heat Resistant Alloy

Dae-Up Kim*

* Research Institute, Hyundai MOBIS Co., Yongin 449-910, Korea

Abstract

Metallurgical characteristics of bonded region and high temperature mechanical properties of heat resistant alloy, Fe-35Ni-26Cr during liquid phase diffusion bonding were investigated employing AM17 insert metal. The insert metal for bonding, AM17 was newly developed Ni-base filler metal using interpolation method.

Bonding of specimens were carried out at 1,403~1,463K for 600s in vacuum. The microconstituents in the bonded interlayer disappeared in the bonding temperature over 1,423K. The microstructures, alloying elements and hardness distribution in the bonded interlayer following homogenization at 1,443K for 10.8ks became uniform with those in the base metal. The tensile strength and elongation of the joints at elevated temperatures were the same level as one of the base metal in the bonding temperature over 1,423K. The creep rupture strength and rupture lives of joints were almost identical to those of base metal.

(Received June 30, 2000)

Key Words : Heat resistant alloy, Liquid phase diffusion bonding, AM17 insert metal, Microconstituent, Tensile test, Creep rupture test

1. 서 론

석유화학공업등의 다양한 가열반응로에 사용되고 있는 내열주강은 대단히 가혹한 환경에서 사용되는 재료이고, 이러한 환경하에서 접합부의 특성은 구조물의 신뢰성을 크게 좌우하는 인자이다. 종래에는 내열주강의 접합에 용융용접을 주로 행하였으나, 용접열사이클에 의한 모재열화 및 용접균열등의 문제¹⁾가 있기 때문에 이러한 문제를 해결할 수 있는 접합법으로 액상확산접합법의 적용이 검토되고 있다²⁻⁵⁾.

지금까지 Fe기합금의 액상확산접합에 관한 연구에 의하면, 스테인리스강에 Fe기 인서트금속을 사용한 접합부에서는 모재에 가까운 인장강도를 나타내나 접

합부 근방에서 입계부식이 생기기 쉬우며, Ni기 인서트금속을 사용한 경우에는 기계적성질이 모재보다 낮다고 보고하고 있다^{6,7)}. 또한, 탄소강관의 액상확산접합에서는 인서트금속의 재질이나 접합조건을 선정하는 것에 의해 접합부 특성을 개선할 수 있다고 하고 있다⁵⁾.

이상과 같이, 액상확산접합에서는 모재와 인서트금속의 조합이 접합후의 접합부특성에 크게 영향을 미친다. 그러나, 대부분의 액상확산접합에서는 시판되고 있는 인서트금속을 적용하고 있고, 각 모재에 대한 최적의 인서트금속의 합금설계를 통계적으로 검토한 연구사례는 거의 없다^{8,9)}.

본 연구에서는 내열주강에 액상확산접합을 적용할 경우, 접합부의 고온에서의 기계적특성을 개선하는 것을 목적으로 하여, 내삽법에 의해 합금설계를 행하여

최적화된 화학조성을 가지는 인서트금속을 개발하였다³⁾. 본 보고에서는 새로 개발한 인서트금속을 사용하여 액상확산접합을 행하여 접합조건에 따른 접합부의 조직변화, 균질화처리의 영향 및 기계적특성을 조사하여 신개발 인서트금속을 사용하였을 때의 접합의 유효성을 평가하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

본 실험에 사용한 모재는 원심주조법에 의해 제조된 Fe-35Ni-26Cr 내열주강이며, 인서트금속으로는 본 연구에서 내삽법으로 합금설계하여 개발³⁾한 Ni기 합금 AM17을 사용하였다. Table 1에 이들의 조성을 나타낸다. 모재 시험편의 형상은 기계적시험용은 8mm ϕ \times 35mm l, 조직관찰용은 8mm ϕ \times 8mm l로 하였으며, 인서트금속은 arc 용해한 후 8mm ϕ \times 50 μ m로 가공, 연마하여 사용하였다.

Table 1 Chemical compositions of materials used (mass%)

Materials	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	Nb	B	Fe
Base metal	KHR35CW	0.45	1.78	0.4	35.0	26.7	0.42	0.64	1.26	- Bal.
Insert metal	AM17	-	4.0	-	Bal.	3.0	-	-	3.0	-

2.2 실험방법

접합시료는 피접합면을 #1,500번까지 연마하고 인서트금속과 함께 초음파세척한 후 접합시료의 사이에 인

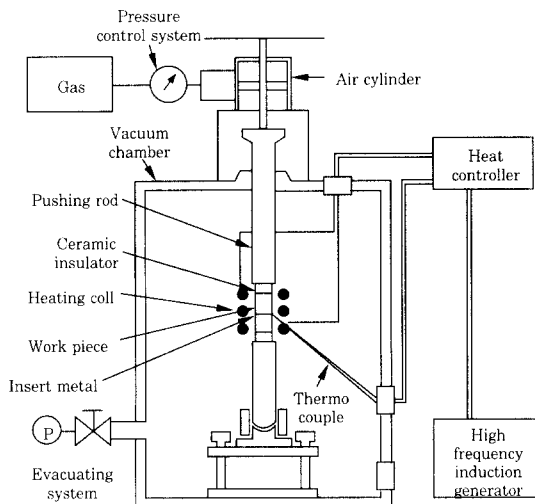


Fig. 1 Schematic illustration of the bonding apparatus

서트금속을 삽입하여 Fig.1에 나타내는 진공접합장치 내에서 접합하였다. 접합은 접합온도 1,403~1,463K, 유지시간 600s, 가압력 20MPa, 진공도 13.3mPa의 조건에서 고주파유도 가열하였다. 또한, 접합후 균질화열처리는 1,273~1,443K의 온도에서 10.8ks동안 행하였다.

접합부 조직은 10%수산수용액으로 전해부식하여 SEM으로 관찰하였으며, 접합부 근방의 원소분석은 EDX 및 EPMA를 사용하여 행하였다.

고온인장시험은 시험편을 1,273K의 시험온도까지 전기로를 사용하여 가열하였으며, 1.7×10^{-3} mm/s의 인장속도로 행하였다. 또한, 크리프-파단시험은 시험편을 1,273K까지 전기로에서 가열하여 하중을 20~33.5MPa으로 수단계 변화시켜 행하였다. 인장시험 및 크리프-파단시험편의 형상을 Fig. 2에 나타낸다.

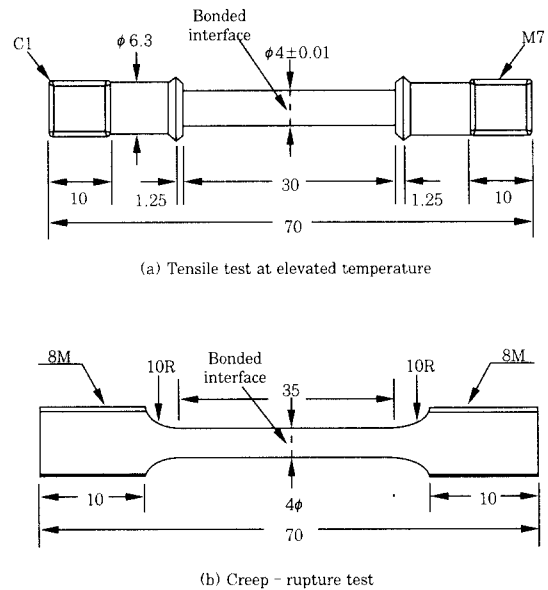


Fig. 2 Specimens used for tensile and creep-rupture testings

3. 실험결과 및 고찰

3.1 접합온도에 따른 접합부의 조직변화

Fig. 3은 신개발 인서트금속 AM17을 사용하여 1,403~1,463K의 온도범위에서 액상확산접합하였을 경우 접합온도에 따른 접합부의 조직변화를 나타낸다. 접합온도 1,403K에서는 접합층의 구분이 명확하고 접합층 근처의 모재부분에 미세한 입상생성상이 다량으로 존재하고 있으며, 접합층내에는 괴상의 생성상이 약간 관찰되고 있다. 접합온도 1,423K에서는 접합층 부근의 미세한 입상생성상은 감소하고 있고, 접합층내에

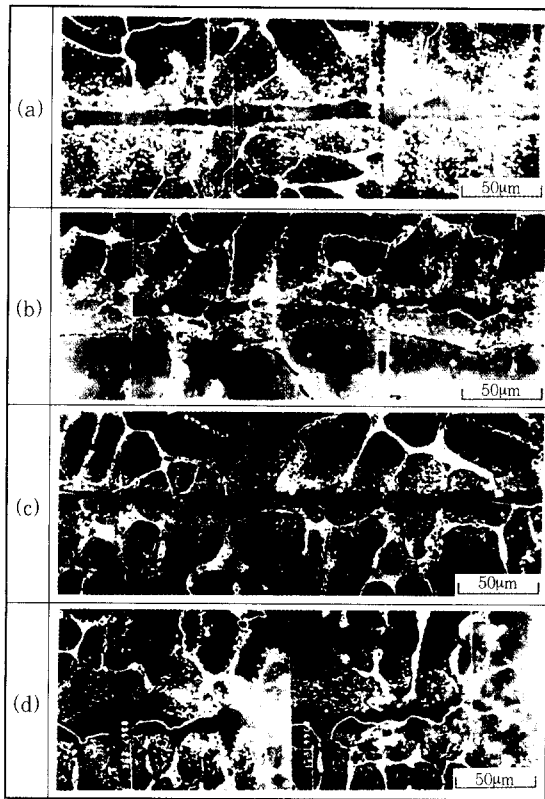


Fig. 3 SEM microstructures of bonded interlayer (a) 1,403K (b) 1,423K (c) 1,443K (d) 1,463K

접합계면이라고 보이는 선상의 조직이 관찰되고 있다. 또, 접합층내의 피상의 생성상은 보이지 않고 있다. 접합온도 1,443K에서는 접합층내의 피상생성상은 보이지 않고, 접합계면이라고 생각되는 선상의 조직은 크게 이동하고 있으며, 모재부는 network상 조직으로 연결되어 있는 부위가 관찰되고 있다. 접합온도 1,463K에서는 접합층의 판별이 곤란할 정도로 접합계면은 크게 이동하고 있고, 접합층내 피상생성상은 보이지 않고 있다. 시판되고 있는 MBF-50 인서트금속으로 액상확산접합한 결과²¹⁾와 비교하면, MBF-50을 사용한 접합부에서는 1,463K이상에서 접합부내 생성상이 소멸하였으나, AM17 인서트금속으로 접합한 경우는 접합온도 1,423K이상에서 접합층내 피상생성상이 소멸하였으며, 접합계면도 크게 이동하고 있다.

접합부의 원소분포상태를 EPMA를 이용하여 분석한 결과를 Fig. 4에 나타낸다. (a) 및 (b)는 각각 1,443K 및 1,458K에서 600s동안 접합한 접합부이다. 접합층에서 Fe의 농도는 저하하고 있고, Ni 및 Si은 거꾸로 증가하고 있다. 이것은 Fe기 합금의 모재에서는 Si의 첨가량이 1.78%인데 반해, Ni기 합금의 인서트금속에서는 Si의 첨가량이 4%로 모재에 비해 많이 함유되어 있기 때문이다. 또, B, Cr 및 Nb는 접

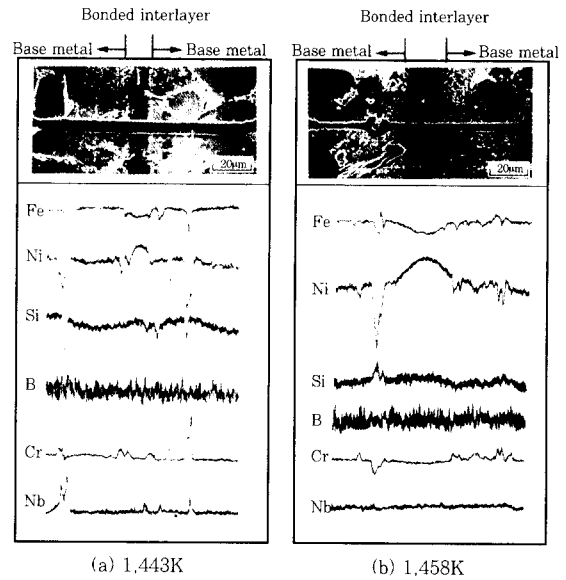


Fig. 4 Line profiles of elements analyzed by EPMA across the bonded interlayer

합층에서의 피크는 보이지 않은 것으로부터, 이들 원소는 거의 균질화되어 있다고 생각된다.

3.2 균질화처리의 영향

접합부가 모재와 동등한 기계적특성을 가지기 위해서는 조직, 원소분포등이 모재와 동등하여야 한다. 접합후 균질화처리조건에 따른 접합부의 조직, 원소분포 및 경도분포의 변화를 조사하였다.

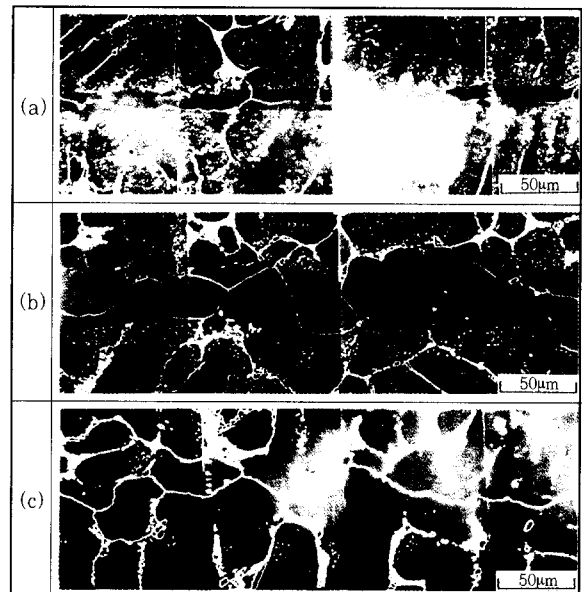


Fig. 5 Change of microstructures in the bonded interlayer with homogenization temperature (a) 1,273K (b) 1,373K (c) 1,443K

Fig. 5에는 1,443K×600s의 조건에서 접합한 후 균질화처리온도에 따른 접합부의 조직변화를 나타내고 있다. (a), (b) 및 (c)는 각각 1,273K, 1,373K 및 1,443K에서 10.8ks동안 균질화처리한 것이다. 접합상태(as-bonded)와 비교하면, 1,273K에서 균질화처리한 경우는 조직의 변화가 거의 없으며, 1,373K에서는 미세한 입상생성상이 감소하고 접합층이 불명확하다. 또, 접합계면은 접합상태에 비해 크게 이동하여 결정입계 형상으로 변화하고 있다. 1,443K에서는 미세한 입상생성상은 상당히 감소하고 있으며, 접합층은 불명확하고 최종응고계면인 접합계면은 모재부의 network상 조직으로 변화되어 있는 부분도 관찰되고 있다.

이들 접합부 조직의 EPMA 분석결과를 Fig. 6에 나타낸다. 1,273K의 균질화처리 온도에서는 접합층에서 Fe의 농도가 저하하고 Ni은 증가하고 있으나, Si 및

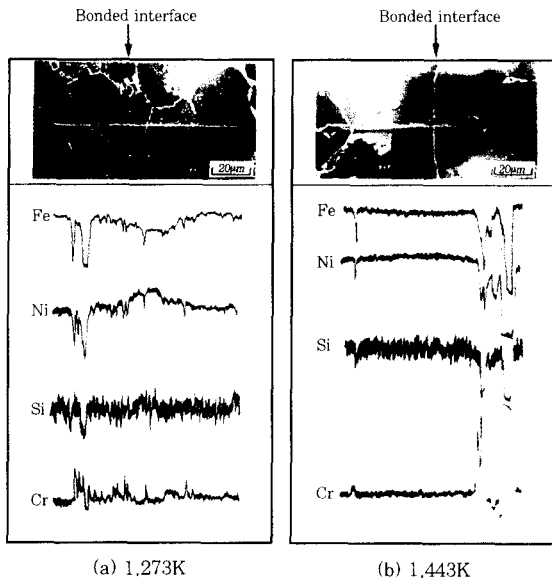


Fig. 6 Line profiles of elements analyzed by EPMA across the bonded interlayer after homogenization treatment

Cr의 피크는 보이지 않아 거의 균질화되었다고 생각된다. 1,373K에서는 Fe 및 Ni의 피크는 비교적 낮고 평탄하게 되어 있다. 1,443K에서는 Fe 및 Ni의 피크는 보이지 않고 거의 모든 원소의 균질화가 달성되고 있다. Fig. 7에는 균질화처리 온도에 따른 접합부의 경도분포를 나타낸다. 접합부는 1,443K×600s의 조건에서 접합한 후 균질화처리한 것이다. 접합계면과 모재부의 경도를 비교하면, 접합상태(as-bonded)의 접합부에서는 접합계면이 모재에 비해 경도가 상승하였으나, 1,273K이상의 온도에서 균질화처리를 행하

면 접합부도 거의 모재와 동일한 경도를 나타내고 있다. 또, 균질화온도의 상승에 따라 경도분포가 일정하게 되는 경향이었으며, 접합부 및 모재의 경도는 약 Hv205이다. 접합상태(as-bonded)의 접합부와 1,273K에서 균질화처리한 접합부의 접합계면 근처의 약 10 μ m 및 20 μ m의 위치에서 경도의 피크가 보이는 것은 접합층 근방의 모재부에 생성한 미세한 입상생성상에 의해 경도가 상승한 것으로 판단된다.

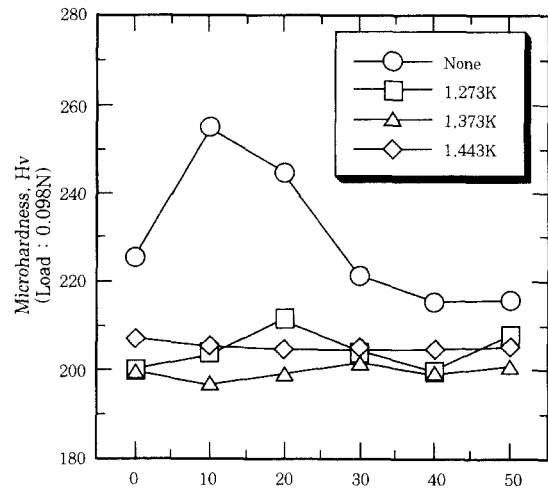


Fig. 7 Microhardness distribution in bonded interlayer after homogenization treatment

3.3 접합부의 기계적특성

3.3.1 고온인장특성

AM17 인서트금속을 사용하여 여러 온도에서 접합한 이음부에 대해서 고온인장시험을 행하였다. 1,403~1,463K×600s의 조건에서 접합한 시험편에 대해

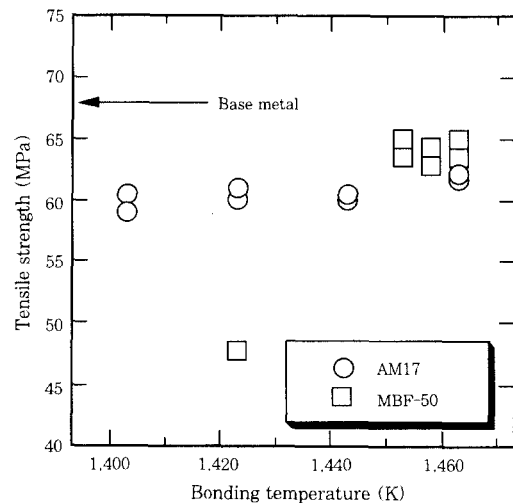


Fig. 8 Effect of bonding temperature on tensile strength of joints

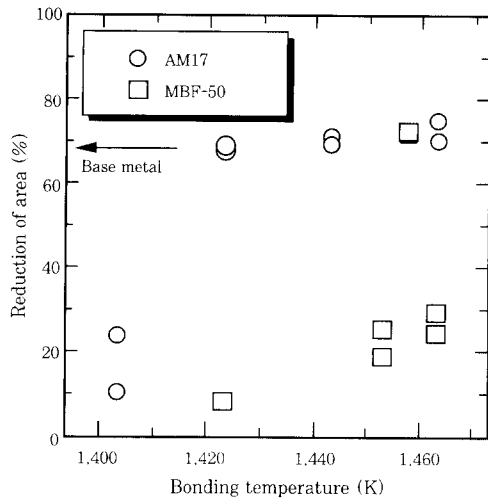


Fig. 9 Effect of bonding temperature on reduction of area of joints

1,273K의 시험온도에서 인장시험을 행하여 접합온도에 따른 인장강도 및 단면수축율의 관계를 MBF-50 인서트금속을 사용하였을 때의 값과 비교하여 각각 Fig. 8 및 Fig. 9에 나타낸다. 접합이음부의 인장강도는 접합온도의 상승에 따라 약간 상승하였으며, 모든 접합온도에서 모재강도의 약90% 이상의 접합강도를 나타내고 있다. MBF-50으로 접합한 시험편의 결과와 비교하면, 1,403K, 1,423K의 비교적 낮은 온도에서 접합한 시험편에서도 높은 인장강도가 얻어지는 것을 알 수 있다. 한편, 단면수축율의 결과를 보면, 접합온도 1,403K에서 접합한 시험편의 단면수축율은 약 10~15%로 낮은 값을 나타내나, 1,423K, 1,443K 및 1,463K에서 접합한 시험편은 모재부에서 파단하였기 때문에 모재와 동등한 높은 값을 나타내고 있다. MBF-50인서트금속이 접합온도에 상관없이 30%이하인 것과 비교하면 상당히 개선되고 있는 것을 알 수 있다. 고온인장시험후의 시험편의 양상을 보면, Fig. 10에 보이는 바와 같이 1,403K에서 접합한 시험편은 접합부에서 파단하나, 1,423K, 1,443K 및 1,463K에서 접합한 시험편에서는 접합면에서 크게 떨어진 모재부에서 파단하고 있다.

따라서, 본 연구에서 새로 개발한 AM17 인서트금속을 사용하면 모재와 동등한 고온인장특성을 가지는 양호한 접합부 특성을 나타내는 접합온도영역이 비약적으로 넓어짐을 알 수 있었다.

한편, 접합후 균질화열처리를 행한 시험편에 대하여 1,273K의 시험온도에서 고온인장시험을 행하여 접합상태(as-bonded)에서의 시험결과와 비교하였다. Fig. 11은 1,443K×600s의 조건에서 접합한 후 1,443K×10.8ks의 조건에서 균질화열처리한 시험편

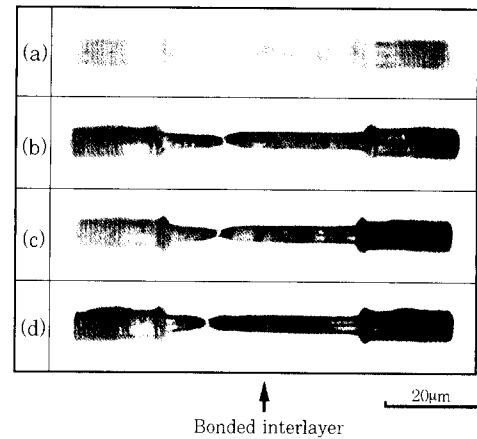


Fig. 10 Appearance of specimen after tensile test at the elevated temperature (a)1,403K (b)1,423K (c)1,443K (d)1,463K

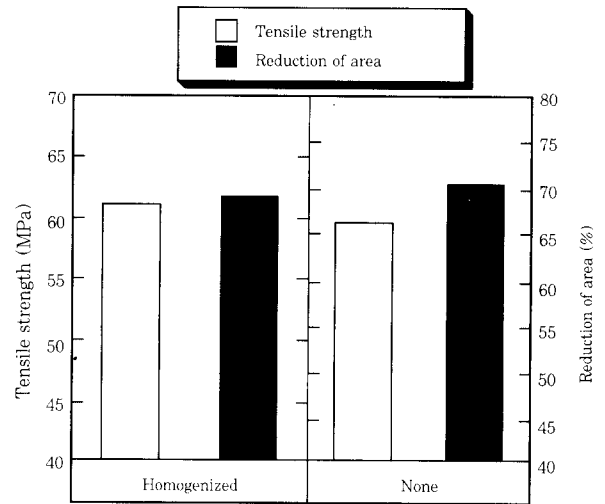


Fig. 11 Effect of homogenization treatment on tensile properties of joints

의 고온인장시험 결과를 나타낸다. 인장강도는 접합상태의 시험편에 비해 개선되고 있는 경향을 나타내고 있으며, 단면수축율은 접합상태와 같이 모재와 동일한 값을 나타내고 있다.

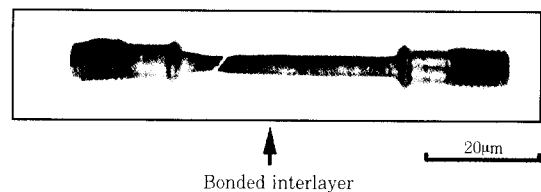


Fig. 12 Appearance of specimen after tensile test at the elevated temperature

Fig. 12는 접합후 균질화처리한 인장시험편의 양상을 나타낸 것으로 접합부에서 크게 떨어진 모재부에서 파단하고 있다. 이상으로부터, 접합후 균질화처리를 행하는 것에 의해 고온기계적특성을 보다 개선할 수 있었다.

3.3.2 크리프-파단 특성

AM17 인서트금속을 사용해서 1,443K×600s의 조건에서 접합한 시험편에 대하여 크리프-파단 특성을 조사하였다. 크리프-파단강도는 시험조건에서 시험편의 파단시간을 측정하여 그 결과를 Larson-Miller 파라미터로 정리하였다.

Fig. 13은 접합부의 크리프-파단강도를 모재강도와 MBF-50인서트금속을 사용하였을 때의 파단강도와 비교하여 나타내고 있다. AM17을 사용해서 1,443K에서 접합한 시험편은 MBF-50을 사용해서 1,458K에서 접합한 시험편보다 약간 개선된 크리프특성을 나타내고 있으며, 모재의 크리프특성의 평균값에 달하는 우수한 접합이음부 특성을 나타내고 있다. 또한, 본 연구에서 새로 개발한 인서트금속은 실험실에서 용해하여 제작하였기 때문에 향후 접합온도의 선정, 인서트금속의 amorphous박막화등, 접합조건을 엄밀히 선정하는 것에 의해 실험편차가 없고, 모재와 동등한 크리프 특성을 가지는 우수한 접합부를 얻을 수 있다고 판단된다.

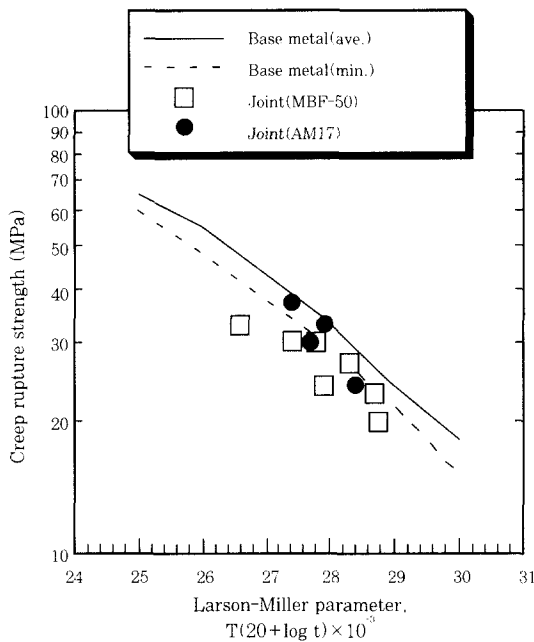


Fig. 13 Creep rupture strength of joints

4. 결 론

본 연구에서는 고온가열로용 내열주강에 대하여 최적화된 화학조성을 가지는 인서트금속 사용하여 액상

확산접합을 행하여, 접합조건에 따른 조직관찰, 균질화처리의 영향 및 접합부의 고온기계적특성에 대하여 검토하였다. 얻어진 결과는 다음과 같다.

1) 접합부 조직을 관찰한 결과, 접합온도 1,403K이하에서는 접합층이 명확하고 접합층내에 약간의 생성상이 생성하나, 접합온도 1,423K이상에서는 접합층내 피상의 생성상은 관찰되지 않고 접합계면도 크게 이동하였다.

2) 접합부의 조직, 원소분포 및 경도측정을 행하여 접합부의 균질화 정도를 조사한 결과, 1,443K×600s에서 접합한 경우 1,443K이상에서 균질화처리를 행하면 거의 균질화가 달성되어 모재조직과 유사하였다.

3) 1,423K이상에서 접합한 이음부는 고온인장강도가 모재강도의 90%이상, 단면수축율이 모재와 거의 동등한 값을 나타내었으며, 모재에서 파단하였다. 또, 접합후 균질화처리를 행하면 고온인장특성이 약간 개선되었다.

4) 크리프-파단시험결과 모재의 평균파단수명에 달하는 우수한 접합부 특성을 나타내었으며, 새로 개발한 AM17인서트금속을 사용하는 것에 의해 크리프특성의 개선이 가능하였다.

참 고 문 헌

1. 望月 : 鐵基耐熱鑄鋼液相擴散接合繼手の高温機械的性質の改善, 大阪大學修士學位論文(1995)
2. 김대업 : Fe-35Ni-26Cr 주강 액상확산접합부의 고온기계적특성에 미치는 접합조건에 영향, 대한용접학회지, 18-4(2000), p96
3. 김대업, 정승부, 강정운 : 액상확산접합용 인서트금속의 화학 조성 최적화에 관한 연구, 대한용접학회지 18-5(2000) p90
4. 中橋, 鈴村, 恩澤 : 鐵基ろう材を用いた耐熱鋼の液相擴散接合, 日本金屬學會誌, 49-4(1986), p285
5. 三浦 : 液相擴散接合法の鋼管への應用, 溶接學會全國大會講演概要(1987), p39
6. 小溝, 上野, 富田, 小川 : 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, 溶接學會論文集, 8-2(1990), p197
7. E.Lugscheider : High Temperature Brazing of Stainless Steel with Nickel-Base Filler Metals BNi-2, BNi-5 and BNi-7, Weld. J., 62-6(1983), p160s
8. 中尾, 西本, 篠崎, 姜, 重田 : 合金粉末を用いた液相インサート金屬擴散接合法の開発, 溶接學會論文集, 9-4(1991), p550
9. 강정운, 김인배, 이상래 : Fe기내열합금의 액상확산접합용 삽입금속의 개발에 관한 연구, 대한용접학회지, 13-3(1995), p291