

브레이징한 2상 스테인리스강 UNS32550의 미세조직 및 기계적 특성

김 대 업* · 강 정 윤**

*현대모비스(주) 기술연구소

**부산대학교 금속공학과

Microstructure and Mechanical Property of Brazed Joint in Duplex Stainless Steel, UNS32550

Dae-Up Kim* and Chung-Yun Kang**

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

**Dep. of Metallurgical Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

Abstract

The bonding phenomena and mechanical property of duplex stainless steel during brazing have been investigated. The UNS32550 was used for base metal, and the MBF50 was used for insert metal. Brazing was carried out under the various conditions (brazing temperature : 1473K, 1498K, holding time : 0~1.8ks). There were various microconstituents in the bonded interlayer because of reaction between liquid insert metal and base metal. In the early stage of brazing, BN is formed in the bonded interlayer and base metal near the bonded layer. Cr nitride is formed in the bonded interlayer. The amount of BN and Cr nitrides decrease with the increase of bonding temperature and holding time. Superior shear strength of 550MPa is obtained by restraining the formation of nitrides.

(Received January 17, 2003)

Key Words : Duplex stainless steel, Brazed joint, Microconstituent, Joint property, Shear strength

1. 서 론

우주용 로켓은 극저온에서 고온까지의 환경에서 작동하기 때문에 사용되는 재료는 매우 넓은 범위의 온도에 처하게 되고, 특히 로켓의 핵심부분인 엔진부품은 고온, 고압, 극저온 및 부식성이 아주 강한 연소가스에 영향을 받게 된다¹⁾. 따라서, 이러한 특수한 환경에서 재료 본래의 특성을 유지할 수 있는 재료의 개발이 절실하다. 현재 로켓엔진에 사용되는 재료중에는 2상 스테인리스강과 같이 고강도이면서 응력부식 및 수소취성 저항성 등이 우수한 재료들이 많이 사용되고 있다²⁾. 이 재료는 페라이트와 오스테나이트의 혼합조직을 가지기 때문에 높은 비강도, 우수한 응력부식 저항성, 가공성, 인성, 공식 등 두 조직의 장점을 모두 가지고 있는 것이 특징이다.

2상 스테인리스강의 용접·접합법으로는 일반적으로 TIG용접 및 전자빔용접과 같은 용융용접법이 적용되고

있으나, 2상을 가진 구조이기 때문에 용융용접시 다음과 같은 문제점이 있다. 2상 스테인리스강의 TIG용접시 보호가스로서 Ar-H₂가 일반적으로 사용되고 있으나, 용착금속에 70% 이상의 페라이트가 존재시 보호가스의 수소가 수소취화를 일으키는 것으로 보고되고 있다³⁾. 최근에는 적은 변형, 빠른 용접속도의 장점이 있는 고밀도 레이저용접과 전자빔용접의 사용이 증가하고 있으나, 용가재의 사용과 분위기에서의 용접을 행하지 않는 경우, 용착금속으로 부터의 질소의 방출이 일어나게 되고, 용접부에 Cr질산화물의 석출로 인해 내식성 저하의 원인이 되는 것으로 보고되고 있다^{3,4)}. 이와 같이, 2상 스테인리스강에 용융용접을 행하면 모재의 강화기구가 소실되어 용착금속의 내식성이 떨어지고, 열영향부에서의 기계적 성질이 저하되는 문제점이 있다. 특히, 로켓엔진과 같이 복잡한 구조를 가지면서 우수한 기계적 성질과 정밀도가 요구되는 부품에 적용하기 위해서는 보다 신뢰성 있는 용접·접합법이 요구된다. 따라서, 2상 스테인리스강의 적용범위를 넓히면서 정밀도

가 높고 모재의 우수한 특성을 살릴 수 있는 방법으로서 브레이징, 확산접합, 천이액상확산접합법이 대안으로 제시되고 있다.

본 연구에서는 2상 스테인리스강의 브레이징에 대한 접합성을 검증하기 위하여, 접합조건 변화에 따른 접합부의 미세조직 및 생성상의 변화를 조사하고, 이들 결과를 바탕으로 접합부 근방에 생성되는 생성상의 생성 기구에 대해서 고찰하였다. 또한, 전단시험을 통하여 접합부의 기계적 특성을 평가하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

모재는 2상 스테인리스강인 UNS32550을 사용하였다. UNS32550강은 다른 스테인리스강에 비해 Cr과 Ni가 많이 함유되어 있으며, 페라이트와 오스테나이트의 혼합조직을 가지고 있다. 또한, 브레이징시 인서트 금속으로는 2상 스테인리스강의 브레이징에서 가장 우수한 접합특성을 나타낸다고 보고⁵⁾되고 있는 Ni기 비정질 합금 박막중에서 예비실험을 통하여 가장 안정적인 접합부 조직을 나타낸 MBF50(두께:40 μ m)을 사용하였다. 이들의 조성을 Table 1에 나타낸다.

모재는 연마지 #1500까지 기계적 연마를 실시한 후 인서트금속과 같이 초음파 세척하여 건조한 후, 접합시료 사이에 인서트 금속을 삽입하여 진공로에서 접합하였다. 접합은 13.3mPa의 진공 분위기에서 20K/min의 속도로 가열하여 접합온도에서 소정시간 유지한 후 노냉하였다. 접합시 접합온도는 MBF-50 인서트금속의 용점인 1423K보다 높은 1473~1498K, 유지시간은 0~1.8ks로 변화시켰으며, 접합압력은 1.92kPa으로 일정하게 하였다.

접합부의 미세조직은 접합면에 수직방향으로 절단하여 연마한 후, HNO₃(50ml) + H₂O(50ml) 용액에서 전압 3V, 시간 5초의 조건으로 전해부식시켜 광학현미경 및 SEM으로 관찰하였다. 접합부내 생성상은 EDX 및 EPMA를 사용하여 점분석 및 선분석을 실시하였으며, Image Analyzer를 이용하여 생성상의 분율을 측정하였다.

접합부의 기계적 성질은 전단시험을 행하여 평가하였다. 본 실험에서 사용한 전단시험편의 형상 및 치수를 Fig. 1에 나타낸다. 전단시험은 고온 만능시험기를 사

Table 1 Chemical compositions of materials used. (wt%)

Materials	Cu	Cr	Mn	Mo	C	Si	N	B	Fe	Ni
Base metal UNS 32550	1.6	24.6	1.27	3.05	0.02	0.32	0.21	-	Bal.	6.22
Insert metal MBF-50	-	19.5	-	-	-	7.3	-	1.5	-	Bal.

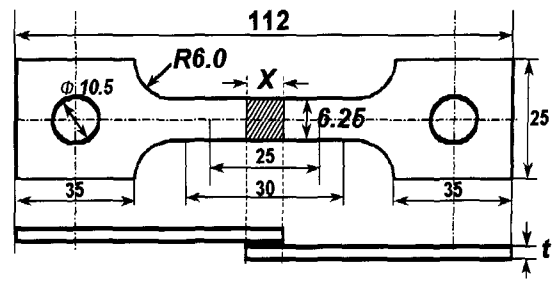


Fig. 1 Sketch for shear test specimen

용하여 시험속도는 2mm/min로 하였으며, 시험온도는 상온, 573K, 773K로 변화시켜 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 접합부의 조직

Fig. 2는 모재인 UNS32550에 대하여 MBF50 인서트금속을 사용하여 접합온도 1473K, 1498K에서 브레이징하여 유지시간에 따른 접합부의 조직변화를 나타낸 것이다. 접합초기에는 접합계면 부근에서만 길고 가는 생성상들이 관찰되었으나, 유지시간이 길어짐에 따라 생성상의 양은 감소하고 접합부 중앙으로 이동하는 경향을 나타내었다. 또한, 동일한 유지시간에서 접합온도가 높은 1498K에서 접합부내 생성상들은 약간 감소하였다.

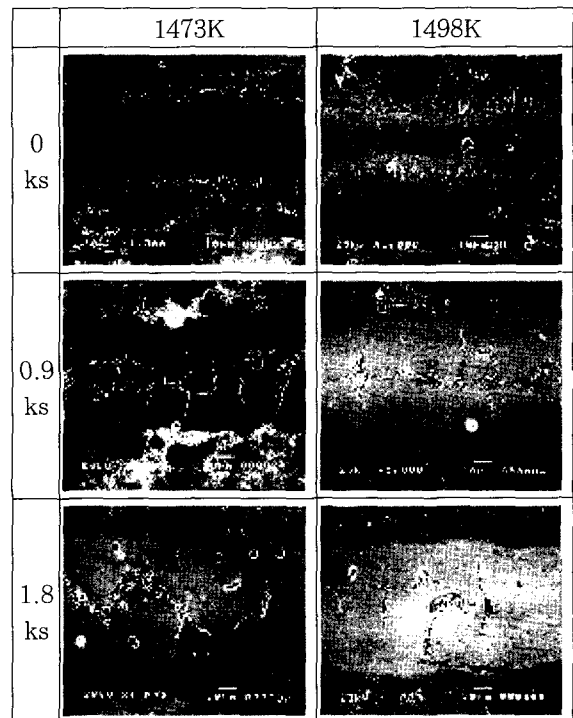


Fig. 2 Change in microstructures of brazed zone with holding time at 1473K and 1498K.

접합조건에 따른 접합부의 조직관찰 결과로부터, 접합부내에 존재하는 생성상을 분류하여 Fig. 3에 나타내었다. 접합부 부근의 생성상들은 생성위치 및 형상에 따라 크게 3종류로 구분되었다. 즉, 접합부 중앙에 존재하는 각상 생성상(a), 접합계면 부근에 존재하는 길고 가는 피상 생성상(b) 및 접합부 전반적으로 분포한 구형 생성상(c)이다. Fig. 4는 이들 생성상에 대하여 EPMA에 의한 원소분석결과를 나타낸 것이다. 각상의 선분석 결과로부터, 생성상 a 및 생성상 b는 Cr질화물, 생성상 c는 BN임을 알 수 있다.

접합조건에 따른 각 생성상의 변화를 조사하기 위하여, 접합부내 생성상의 면적을 image analyser로 측정하여 정량화하였다. Fig. 5는 1473K, 1498K의 접합온도에서 유지시간 변화에 따른 접합부내 Cr질화물과 BN의 분율을 나타낸 것이다. Cr질화물은 유지시간이 증가함에 따라 양이 감소하는 경향을 나타내고, 동일 유지시간에서는 접합온도가 높은 1498K에서 그 양이 작았다. 한편, BN의 경우는 유지시간이 0.9ks까지는 분율이 증가하다가 1.8ks에서는 급격히 감소하였다.

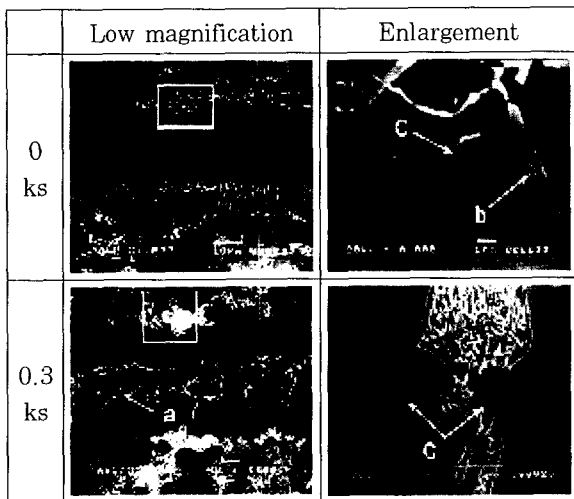


Fig. 3 Classification of microconstituents for joint brazed at 1473K.

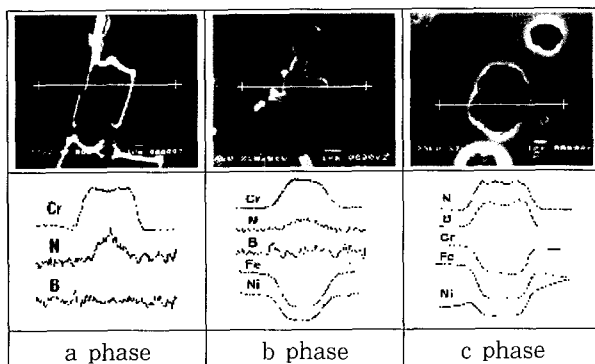


Fig. 4 Line profiles of elements on the each microconstituents.

이는 온도에 따른 생성상의 자유에너지 변화로 설명될 수 있다. Fig. 6에는 Cr화합물과 BN의 자유에너지 변화를 나타낸 엘링감 도표를 나타내었다⁶⁾. 그림에 나타난 바와 같이, 접합온도인 1473~1498K의 온도영역에서는 Cr질화물인 CrN 및 Cr₂N에 비해 BN의 자유에너지가 낮고 안정한 상임을 알 수 있다. 즉, 접합초기에 접합계면 부근에서 생성되는 많은 양의 Cr질화물이 유지시간이 증가함에 따라 질소가 안정한 BN으로 되면서 0.9ks까지는 증가하다가 그 이후에는 B 및 N의 확산으로 다시 감소하는 것으로 생각된다.

3.2 조직 변화에 미치는 열처리의 영향

브레이징시 접합조건에 따라 접합부 부근에는 산화물, 금속간 화합물, 개재물 등과 같은 다양한 생성상들이 생성되며, 이들 생성상들은 접합부의 기계적 특성을 현저하게 저하시킨다⁷⁻⁹⁾. 본 연구에서도 접합부 부근에

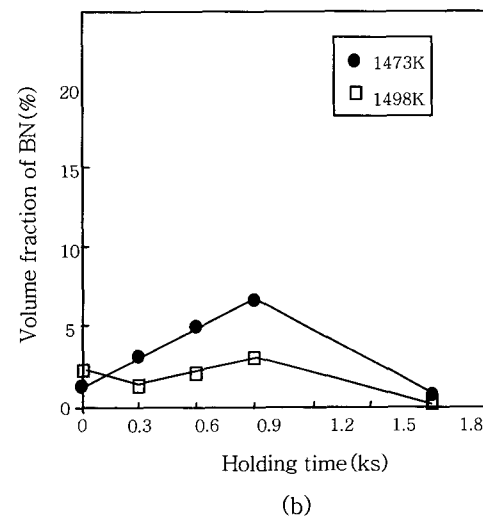
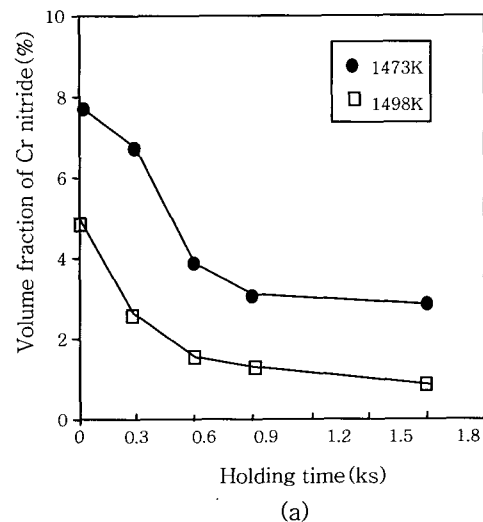


Fig. 5 Volume fraction of Cr nitride and BN with various brazing conditions

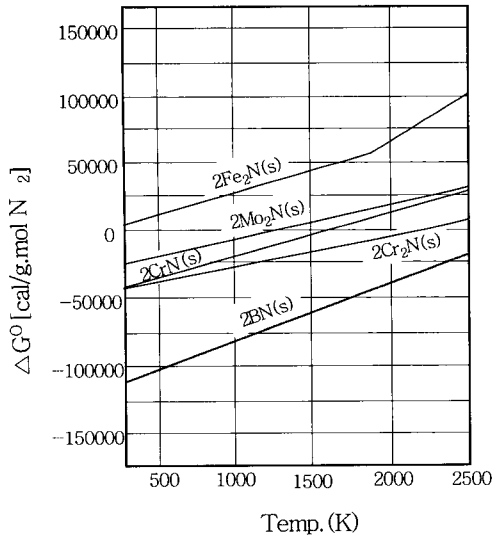


Fig. 6 Ellingham diagram of various nitrides

는 Cr질화물 및 BN으로 판단되는 생성상들이 생성되었다. 따라서 접합부내 질화물의 생성을 억제하기 위하여 접합전에 모재를 열처리한 후 접합하여 접합부내 생성상의 변화를 관찰하였다.

Fig. 7은 접합전에 모재를 1498K×0.9ks의 조건에서 열처리한 경우와 열처리를 행하지 않은 시험편의 접합부 조직을 비교하여 나타낸 것이다. 열처리후 모재에서는 열처리전에 비하여 오스테나이트의 분율이 줄어들고 페라이트의 분율이 증가함을 알 수 있다. 이는 열처리시 2상 스테인리스강의 표면에서 질소의 방출로 인한 Ni당량 변화에 기인한 것으로 생각된다. 한편, 접합부내 조직을 보면, 접합전에 모재를 열처리한 시험편에서도 Cr질화물 및 BN으로 판단되는 생성상들이 접합부에 생성되었으나, 열처리를 행하지 않은 시험편에 비해 생성상의 양은 현저하게 줄어든 것을 알 수 있다. Fig. 8에는 1498K×0.9ks의 조건으로 접합한 시험편에 대해, 접합부내에 생성되는 질화물의 분율 측정결과를 나타내었다. 모재를 열처리한 경우가 접합부내 질화물의 생성이 감소하였으며, 특히 Cr질화물에 비해 BN의 생성량이 상당히 감소함을 알 수 있다. 이와 같이 질소가

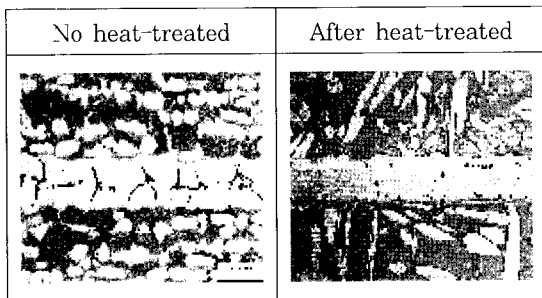


Fig. 7 Microstructures of bonded interlayer

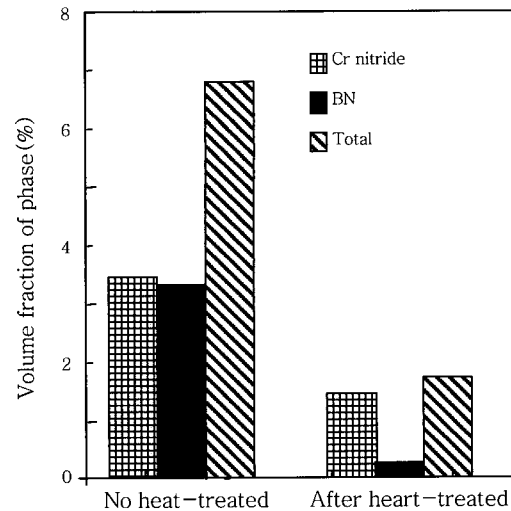


Fig. 8 Effect of heat treatment on volume fraction of microconstituents

많이 함유된 2상 스테인리스강을 브레이징할 경우, 접합전에 모재를 열처리한 후 접합하면 접합부내에서 질화물의 생성을 억제시킬 수 있었다. 이는 접합전 모재의 열처리에 의해 질화물을 생성하는 질소가 확산되어 방출되기 때문에 표면부에는 질소함유량이 감소되어 접합시 용융된 인서트금속과 모재와의 계면반응에 의해 생성되는 질화물의 양이 감소된 것으로 생각된다.

3.3 접합부 생성상의 생성기구

접합조건에 따라 접합부 부근에 생성되는 생성상들의 분석결과에 기초하여 생성상의 생성기구에 대해서 고찰하였다.

Fig. 9는 2상 스테인리스강을 브레이징한 경우, 접합부 근방에 생성하는 생성상의 생성기구를 유지시간의 증가에 따라 모식적으로 나타낸 것이다. 우선 접합초기에는 용융된 인서트금속과 모재와의 계면반응을 통해 모재의 용융이 일어나 접합계면에서 다량의 Cr질화물이 생성되게 된다. 또한, 모재의 용융반응을 통하여 모재로부터 인서트금속쪽으로 확산된 질소가 인서트금속 중의 B과 반응하여 접합계면 및 접합부 근방의 모재에 구상의 BN이 생성된다. 즉, 접합초기에는 확산할 충분한 시간이 없기 때문에 접합부 중앙에는 인서트금속 성분의 공정조성만 잔존하게 되고, 접합계면 부근에는 Cr질화물 및 BN의 2종류의 생성상이 생성하게 된다. 유지시간이 길어지면서 접합중기가 되면, Cr질화물중의 질소가 Cr질화물보다 더욱 안정한 BN로 되면서 Cr질화물의 양은 감소하고 반대로 BN의 양은 증가하게 된다. 이후 접합후기에는 유지시간이 증가함에 따라 Cr질

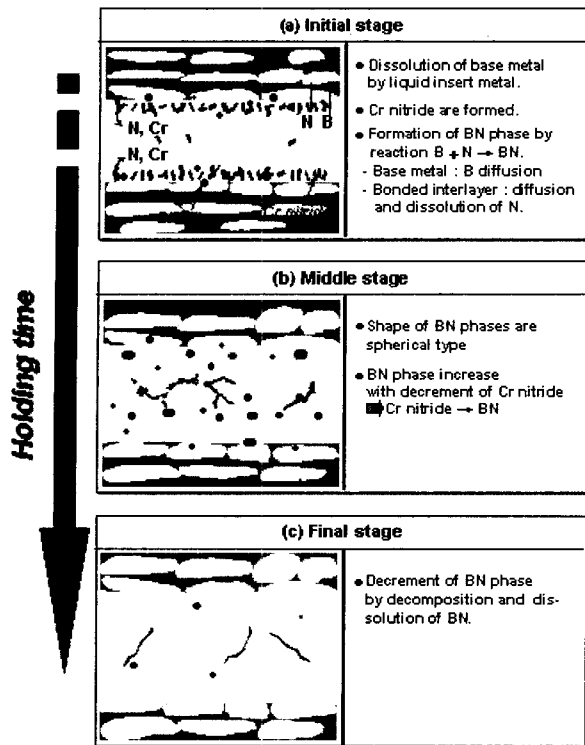


Fig. 9 Schematic illustration showing the formation of microconstituents in the brazed zone

화물 및 BN상중의 성분은 확산반응에 의해 분해되고 고용되어 그 양은 점차적으로 감소하게 된다.

일반적으로 브레이징이나 확산접합을 행할 경우, 접합부 부근에 생성상들이 생성되는 것은 용융된 인서트 금속과 모재와의 계면반응 및 확산반응에 의한다고 보고되고 있다¹⁰⁾. 본 연구에서도 접합초기에는 인서트금속과 모재와의 계면반응에 의해 Cr질화물 및 BN이 접합면에 생성되고, 생성상들의 상 안정성에 따른 변화를 보이다가, 유지시간이 증가함에 따라 모재부와 접합부 사이의 확산반응에 의해 생성상중의 성분이 상호 확산되면서 생성상의 양이 감소하는 것으로 판단된다.

3.4 접합부의 기계적 성질

접합부의 기계적 성질을 평가하기 위하여 전단강도 시험을 실시하였다. Fig. 10은 접합부내 생성상이 가장 적게 발생하는 접합조건인 1498K×1.8ks에서 브레이징한 시험편을 상온, 573K, 773K에서 전단시험을 실시한 결과를 나타낸 것이다.

접합전 모재를 열처리하지 않고 접합한 시험편에서는 시험온도의 증가에 따라 접합강도가 감소하는 경향을 나타내었으며, 모재에 비해 상당히 낮은 값을 나타내었다. 또한, 시험온도에 상관없이 시험편은 모두 접합부에서 파단하였다. 한편, 1498K×0.9ks의 조건에서 열

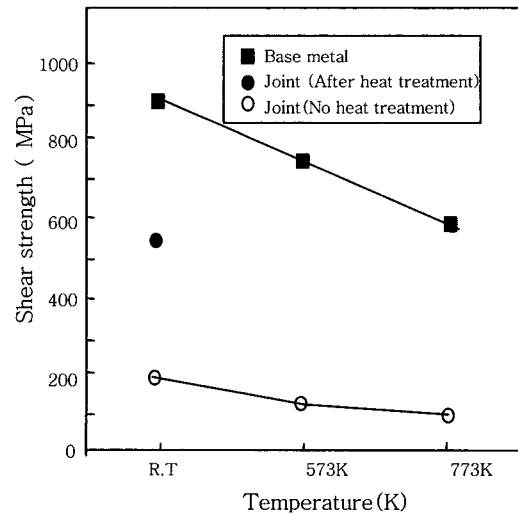


Fig. 10 Shear strength of joints bonded at 1498K for 1.8ks

처리한 후 접합한 시험편은 열처리하지 않은 시험편에 비해 접합강도가 대폭 증가하였으며, 모재에서 파단하였다. 즉, 열처리하지 않은 시험편의 상온에서의 접합강도가 약 200MPa인데 반해, 모재를 열처리한 시험편은 약 550MPa으로 상당히 개선되었다. 이는 상온에서 모재의 인장강도인 900MPa에 비해서는 낮은 강도를 나타내는 것으로 모재의 열처리 및 접합시의 열이력에 따른 재료의 연화에 기인한 것으로 생각된다. 따라서, 질소를 많이 함유한 2상 스테인리스강을 브레이징할 경우, 접합전 모재를 열처리하여 접합부내 질화물을 생성시키는 질소를 방출시켜 최적접합조건에서 접합하면 접합전 열처리를 실시하지 않은 경우에 비해 접합부의 기계적 성질을 개선시킬 수 있을 것으로 판단된다. 향후 모재의 열화가 생기지 않으면서 모재와 동등한 기계적 성질을 가지는 접합부의 특성을 얻기 위해서는 보다 근본적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

2상 스테인리스강인 UNS32550을 브레이징하여, 접합조건에 따른 접합부의 미세조직 및 접합부 부근의 생성상의 변화에 대하여 검토하였으며, 접합부의 기계적 성질을 평가하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 접합부 부근에는 생성위치 및 형상에 따라 3종류의 생성상이 생성되었으며, 이들은 Cr질화물 및 BN이었다. 동일한 접합온도에서 Cr질화물은 유지시간이 증가함에 따라 양이 감소하였으며, BN은 유지시간이 0.9ks까지는 그 양이 증가하다가 이후에는 급격히 감

소하였다.

2) 모재를 열처리한 후 접합하면 열처리를 행하지 않은 시험편에 비해 접합부 부근에 생성하는 생성상의 양이 감소하였다. 특히 Cr질화물에 비해 BN의 생성량이 현저하게 상당히 감소하였다. 이는 모재의 열처리에 의해 표면부의 질소가 방출되어 함유량이 감소되기 때문에 접합후에는 접합부내 질화물의 생성이 억제된 것으로 판단된다.

3) 최적조건인 1498K×1.8ks에서 접합한 시험편은 모재보다 상당히 낮은 접합강도를 나타내었으나, 1498K×0.9ks의 조건에서 모재를 열처리한 후 접합한 시험편에서는 접합강도가 대폭 증가하였으며, 모재에서 판단하였다.

참 고 문 헌

1. D.Kim, Y.Cho, Y.Kim, Y.Woo and Y.Rho : Materials and joining technology for liquid propellant rocket, J. Kor. Weld. Soc., **18-6** (2000), 4-10 (in Korean)
2. D.Gutoe and M.Smith : Sensors guide shuttle welding, Weld. Des. Fabr., **63-5** (1990), 27-33
3. J.Ku et al : Characteristics of Welding Joint of Stainless Steel, J. Mater. Processing Tech., **63** (1997), 770-775
4. A.Omura, Y.Komizo : Microstructure and Corrosion Property of Laser Welded Joints of Duplex Stainless Steel, J. Jpn. Weld. Soc., **68-6** (1999), 37-40 (in Japanese)
5. Byong-Ho Rhee and Dae-Up Kim : Development of Insert Metal for Transient Liquid Phase Bonding of Fe-Base Heat Resistant Alloy, Metals and Materials, **8-5** (2002), 427-433
6. ASM : Specialty Handbook, Stainless, 13
7. Dae-Up Kim : A Study on the Formation Mechanism of Microconstituents in Brazed Joint of Duplex Stainless Steel and Cr-Cu Alloy, J. Kor. Weld. Soc., **19-5** (2001), 86-91 (in Korean)
8. J.E.Ramirez and S.Liu : Diffusion Brazing in the Nickel-Boron System, Weld. J., **72-10** (1992), 365s
9. K.Nishimoto, K.Saida, D.Kim, S.Asai, Y.Furukawa : Bonding mechanisms of Ni-base single crystal superalloy during transient liquid phase bonding, ASMInternational, **1** (1998), 72-76
10. T.Nishida : Brazing Phenomena of Iron and Copper, Jpn. Weld. Soc., **39-4** (1970), 259-265 (in Japanese)