

最近의 Brazing 加工 技術

東京工業大學, 恩澤忠男
譯 : 忠南大學校, 李 暎 浩

1. 서 론

Brazing기술은 종래부터 항공, 우주산업등 비교적 첨단분야에서 발전해 왔다. 그러나 최근 은 각종 산업계에서 장치 및 부품이 소형화·경량화를 추구하고 있어 다른 접합법이 적용될 수 없게 되기에 이르렀으며 Brazing은 확산접합법과 함께 많은 이용을 하기에 이르렀다.

실제로 Brazing을 실시하는 경우, Brazing되는 부품의 재질, 형상, 사용환경등에 의해 Brazing재 및 Brazing방법이 선택되며 그 조합은 대단히 많다. 따라서 Brazing에 관한 기초를 충분하게 이해하는것은 Brazing공정을 올바르게 실시하기 위해서 중요하다. 본보에서는 우선 최근의 Brazing에 관한 일본에서의 연구동향을 알아보고 이어서 필자가 관계한 연구의 일부를 소개하고자 한다.

2. 최근 일본에 있어서의 Brazing에 관한 연구, 기술동향

용접학회지(일본)의 연간 전망호로부터 최근 수년간에 걸친 Brazing연구 및 기술에 관계한 논문, 해설, 기술자료 및 구두발표의 건수를 조사한 결과는 다음과 같다(괄호내는 그중에서의 Al 및 세라믹의 Brazing에 관계한것). 1988년은 93건(Al:9건, 세라믹:56건), 1989년은 74건(Al:6건, 세라믹:41건), 1990년은 45건(Al:11건, 세라믹:21건), 1991년은 79건(Al:8건, 세라믹:49건)으로 나타났다. 조사방법에 따라 년도에 의해 다소 증감이 있으나 Brazing에 관하여 상당히 많은 연구가 이루어 졌다고 말할수 있다.

이들의 내용을 분류하면 재료별로는 세라믹의 Brazing이 압도적으로 많이 실시되고 있다. Al도 매년 어느정도의 발표가 이루어지고 있다. 그 이외의 재료로서는 초합금을 포함한 내열재료관계, Ti관계등이 많다. 특히 내열재료인 경우 Ni납을 이용한 액상확산접합의 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 내열재료를 Ni납을 이용하여 Brazing을 하고 접합시간이 조금 길면, 대부분 납층은 등온 응고하기 때문에 액상확산접합법으로 분류하는 일이 많다. 또 Ti 기 납을 이용하여 Ti을 Brazing한 경우도 동일하게 등온응고하는 일이 많다.

납재료관계로서는 세라믹 Brazing에 있어서는 납과 세라믹과의 젖음(wetting)과 계면반응의 검토가 많다. 또, 인동납합금이나 은납의 상태도적인 상세한 검토, Ti기납의 개발 및 아몰포스닉셀납이나 인동납등의 개발이나 특성에 관계한 연구도 많다.

기계적성질에 관한것으로는 세라믹 접합부의 강도, 내열합금의 고온강도나 용력-파단강도 등의 연구가 많다. 또 종래 비교적 연구가 적었던 샤프-시험에 의한 Brazing이음의 Notch인성의 연구가 실시되기에 이르렀다.

이상, 일본에 있어서의 Brazing의 연구 및 기술경향에 대하여 간단하게 서술하였으나 여기서는 몇종의 테-마에 대하여 필자의 연구를 주로 간단하게 서술한다.

3. 액상확산접합

Fig.1은 Brazing과 확산접합(Diffusion welding) 및 액상확산접합(Liquid phase diffusion welding, Diffusion Brazing)의 접합과정을 비교한것이다. 여기서 확산접합의 경우, 중간재를 사용하는 경우와 사용하지 않는 직접접합의 경우가 있다.

액상확산 접합기구에 대하여 간단하게 서술한다. 우선 접합온도에 달하면 접합부의 중간층(납:interlayer)이 녹는다. 이 접합온도에 보지해 두면 중간층중의 용접강화원소가 모재로 확산하여 녹인 중간층의 용점이 상승하고 접합부 전체가 등온응고한다. 모재가 Ni기인 초합금의 경우, 중간층으로서는 보통 Ni납(nickel-base filler metal)을 사용한다. 이들 납에는 용접강화 원소로서 B, Si, P가 포함되어 있다. 이 방법은 등온응고중 및 종료후도 모재의 원소가 접합부로 확산해 오기 때문에 접합종료시에는 접합부의 조직은 모재와 거의 구별할수 없게 된다.

Fig.2 1)은 모재에 Ni기 초합금 Inconel 713°C에서, 중간층으로 모재와 유사한 조성(Ni-12.4Cr-4.2Mo-2.0Nb-4.0B-1.2Hf)의 것을 사용하여 접합한 것으로서 (a)는 접합시간이 10min., (b)는 30min.인 경우이다. 10min.인 경우, 접합부의 납은 등온응고를 종료하고 있지만 모재부와의 확산이 충분하게 진행되고 있지 않기 때문에 접합부가 아직 명료하게 남

이었다. 20min.이 되면 확산이 진행하여 접합부는 완전히 소실되고 있다. 30min.의 접합 부 부근의 원소 분석결과 (c)에 의하면 Hf를 제외한 전부의 원소가 모재와 균일화하고 있다. Fig. 3¹⁾에 이와 같이 하여 제작한 이음의 용력 - 파단시험 결과를 나타내었다. 여기서는 여러종류의 중간층을 사용한 이음의 결과를 나타내고 있는데 △, ○, □으로 표시된 중간층은 접합효율이 높아 거의 모재값에 가까움을 알 수 있다. 이들 중간층은 아몰포스납 (amorphous brazing filler metal)이며 이외의 것은 분말상의 납이다. 아몰포스납이 튀어나고 있는 것은 납의 표면산화물이 거의 없다는 것이거나 접합온도에서 일정한 모양으로 용융하고 있음이라 생각된다. 분말상의 납인 경우, 접합효율이 낮은 것은 그 표면산화물이나 원소의 편석이 원인으로 생각된다.

4. Brazing 이음의 고온강도

고온환경이나 고온에서 사용되는 장치로서 Brazing 이음을 채용하는 경우, 고온강도가 문제가 된다. Fig. 4²⁾에는 연강의 은납이음과 스테인레스강의 은납이음에 대한 상온으로부터 550°C까지의 고온강도를 나타낸다. 300°C까지는 어느 이음이나 상당히 높은 강도를 나타내고 있으나 그 온도이상에서는 급격한 강도저하를 나타내고 있어 은납이음의 사용온도 한계는 300°C라고 말할 수 있다. Schwartz³⁾도 은납이음의 사용한계 온도는 연속사용 (Creep 강도에 대응)에서는 200°C, 단속사용 (일반적인 정적강도)인 경우, 315°C라고 서술하고 있다.

Fig. 5⁴⁾는 스테인레스강의 Ni-Brazing 이음 및 Au-Brazing 이음에 대한 고온강도를 나타낸다. Ni-Brazing 이음은 700°C까지 모재파단이며 Au-Brazing 이음은 400°C 이상에서 납층파단이 된다. Fig. 6⁵⁾은 모재에 Ni기 초합금 Inconel X-750을 사용한 경우의 고온강도를 나타내고 있는 것으로 Ni납의 경우 600°C까지는 강도저하가 적다. 그러나 800°C에서도 연처리를 행한 이음은 모재파단이 되고 있다. 이 이음은 앞에서 설명한 바와 같이 납이 등온응고하며 나아가 열처리를 행한 것은 확산이 진행되어 접합계면의 원소의 균일화가 발생한 때 문이다. Au-Brazing에 대해서도 600°C까지는 충분한 강도를 가지고 있다.

Brazing 이음의 고온강도는 사용모재나 부하하중의 종류에 의해 크게 변화하지만 일반적인 정하중에 대해서는 다음과 같이 말할 수 있다.

- 인동납 (BCuP) : 연속사용 150°C, 단속사용 200°C
- 은 납 (BAg) : 연속사용 200°C, 단속사용 300~350°C
- 동 납 (BCu) : 연속사용 200°C, 단속사용 400~480°C
- 금 납 (BAu) : 연속사용 400°C, 단속사용 500~600°C
- 닉켈납 (BNi) : 단시간 Brazing의 일반적인 경우 500~600°C
액상확산접합 이음인 경우 1000°C이상

5. Brazing의 노치인성 (Notch toughness)

Fig. 7⁵⁾은 스테인레스강 Brazing 이음의 Charpy 충격시험 결과로서 (a)는 Au-Brazing이음, (b)는 Ni-Brazing 이음에 대한 결과이다. Au-Brazing 이음인 경우 실온부근에서는 흡수에너지는 별로 높지 않으나 400~500°C에서는 모재의 값 (~27kg-m)에 가까워진다. Ni-Brazing 은 상온부근의 흡수에너지는 별로 높지 않으나 온도가 높을 수록 Brazing 시간이 긴 확산이 계속된 이음쪽이 흡수에너지가 높게 된다. 이와 같은 경향은 모재에 Ni 기초합금을 사용한 경우에는 더욱 현저하게 나타난다.

Lugscheider⁶⁾은 Type 347 스테인레스강을 닉켈납 BNi-5로 Brazing한 이음에 U 노치를 가공하여 시험하였는데, 고온에서 대단히 높은 흡수에너지를 나타내고 있다. 이러한 이유로 납층에 취화되고 경한 상이 없기 때문에 모재 그 자체의 값을 나타냈다고 설명하고 있다.

Ohmura⁷⁾은 탄소강을 동납을 사용하여, 용해-정출현상을 일으키는 상태에서 Brazing하여 대단히 충격강도가 높은 이음을 제작하고 있다.

6. Ti-Zr기 납을 이용한 고강도 Ti-Brazing

Ti-Brazing은 은계납, Al계 납 및 Ti계 납이 일반으로 사용된다⁸⁾. 일반적으로 Ti계 납은 접합강도가 높고 내식성에도 뛰어나나 Brazing 온도가 대단히 높은 결점이 있다. 가장 일반적으로 사용되는 Ti-Cu-Ni 합금납의 용점은 약 930°C이기 때문에 Brazing 온도는 950~1000°C가 된다. 따라서 Ti-6Al-4V 합금에서는 본래의 α+β상 조직으로부터 β상 조직으로 변태하는 온도 (β transus : 955~995°C)보다 높게 되기 때문에 모재의 결정립이 조대화하여 연성이나 인성이 대단히 저하한다. 이를 피하기 위해서 필자등은 저용점인 Ti계 납을 개발하였다⁹⁾.

개발한 납의 조성은 Ti-Cu 및 Ti-Cu-Ni 합금에 Zr을 첨가한 것으로서 종래의 납용접보다 약 100°C 낮아지고 있다. 그 조성, 액상선온도 및 고상선온도를 Table.1에 나타낸다.

이 납을 사용하여 공업용 순 Ti (CPTi) 및 Ti-6Al-4V 합금을 Brazing한 이음의 인장강도를 Fig. 8, Fig. 9에 나타낸다. 여기서 ▲, ■, ●으로 나타낸 이음은 모재파단이 된 것이다. Fig. 8에 나타낸 CPTi에서는 850°C, 5min의 Brazing 시간에서 모재파단이 된 이음이 있다. 또, Fig. 9에 나타낸 Ti-6Al-4V 합금이음은 950°C에서 모재파단이 되고 있으나 접합부 파단인 것도 인장강도는 모재의 강도와 같다. 10min에서 Brazing한 경우, 900°C에서 모재파단이 된다. 한편, Fig. 9에서는 1000°C에서 Brazing한 경우의 결과도 나타내고 있는데 인장강도는 모재와 같으나 단면수축율은 대단히 낮아 β Transus 온도이상에서는 결정립의 조대화 때문에 연성이 저하하고 있음이 명백하다.

Fig. 10에 Ti-6Al-4V 합금을 900°C 및 1000°C에서 Brazing한 경우의 조직을 나타낸다. 900°C인 것은 납층이 명료하게 구별이 가능하며 모재부도 원래대로 미세한 조직이 보이는데 반하여 1000°C의 조직은 납층과 모재의 조직이 명료하지 않으며, 모재부는 상당히 조대조직이 되어 있다.

Fig. 11은 이들 이음에 대한 피로시험 결과를 나타내고 있다. 107회의 반복회수에서도 모재는 인장강도의 70% 이상의 피로강도를 가지고 있다. 이에 반하여 900°C 및 950°C에서 Brazing한 이음은 55%이상으로 상당히 양호한 값을 나타내고 있으나 1000°C에서 Brazing한 이음은 반복회수 증가와 함께 일정하게 강도가 저하하고 있어, 모재가 열화하고 있음을 명확하게 알 수가 있다.

7. 결 론

이상, Brazing 연구, 기술동향과 필자를 비롯한 몇가지 연구결과를 소개하였다. 연구에는 비교적 고도기술에 대응하지만 그 기본은 일반적인 Brazing기술과 같다. 따라서 올바른 Brazing을 행하기 위해서는 그 기본적 사항을 숙지하여야 하며 다수의 실험연구 에도 체험하는 것이 대단히 중요하다고 할 수 있다.

參考文獻

- 1) 鈴村, 恩澤ら : 液相擴散接合に及ぼすインサート金屬のアモルファス化の效果, 溶接學會論文集, 3-2 (1985) 321-327
- 2) 恩澤 : 銀ろう, ふれいず, 23-81 (1988) 1-9
- 3) M.M.Schwartz : Brazing, ASM (1987)
- 4) 恩澤, 鈴村ら : 金ろう及びアモルファスニッケルろうによるろう付継手の組織と高温引張特性, 溶接學會論文集, 3-2 (1985) 328-335
- 5) 恩澤, 鈴村ら : 金ろう及びアモルファスニッケルろう付継手の切欠じん性, 溶接學會論文集, 4-1 (1986) 187-192
- 6) E.Lugscheider and H.Krappitz : The influence of brazing conditions on the impact strength of high-temperature brazing joints, Weld.J., 65-10 (1986) 261s-267s
- 7) 大村 : ろう付継手の組織と強度, 溶接技術, 37-4 (1989) 63-68
- 8) 恩澤 : チタンのろう付, 溶接技術, 34-9 (1986) 24-32
- 9) T.Onzawa, A.Suzumura and M.W.Ko : Brazing of Titanium Using Low-Melting-Point Ti-Based Filler Metals, Welding Journal, 69-12 (1990) 462s-467s

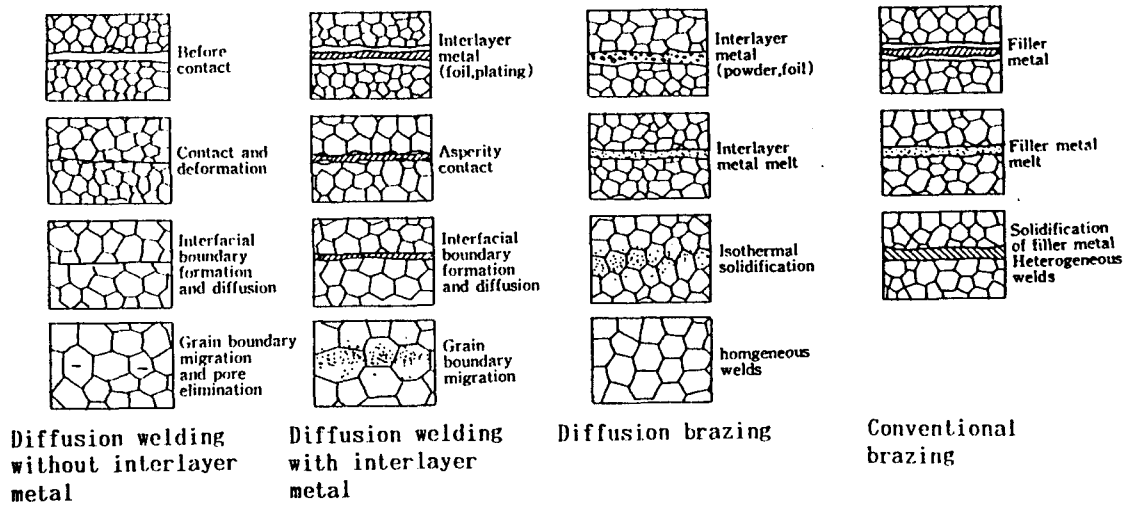


Fig.1 Schematic diagrams of diffusion welding, liquid phase diffusion welding and brazing.

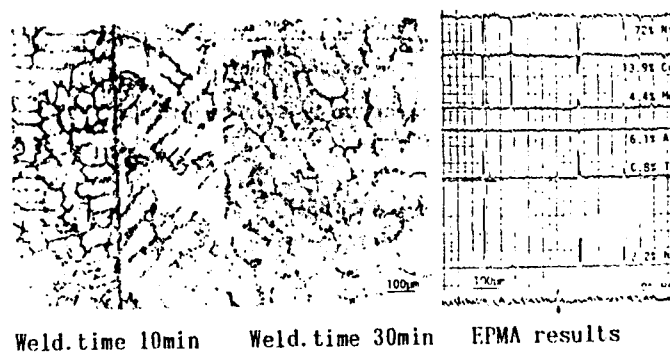


Fig.2 Effects of welding time on microstructure and EPMA of Inconel 713C joint.

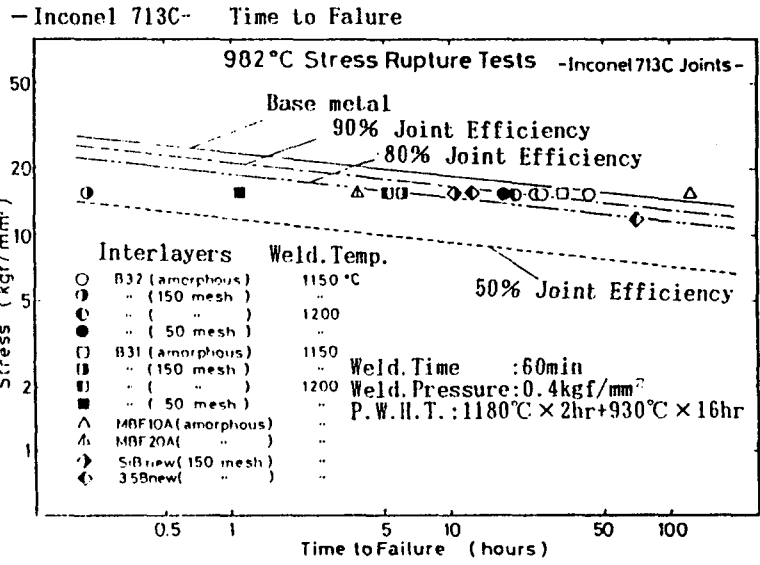


Fig.3 Results of stress-rupture tests on Inconel 713C joints at 982°C.

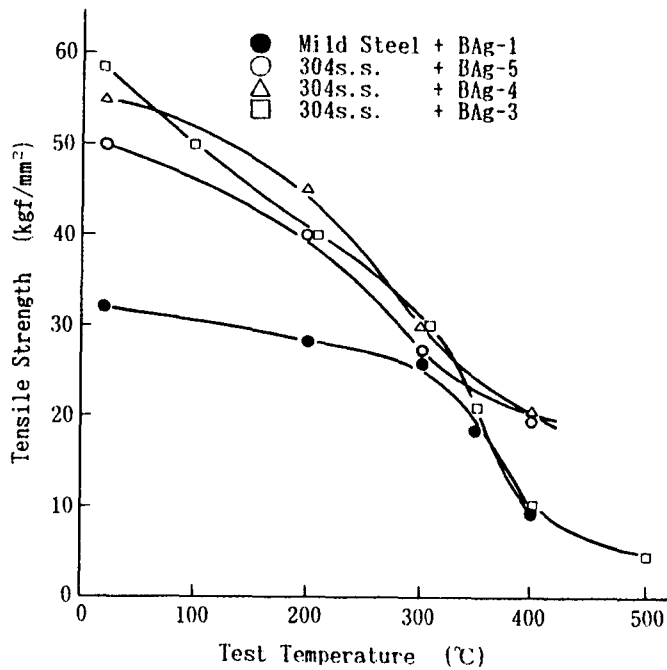


Fig.4 Tensile strength of brazed joints at elevated temperatures.

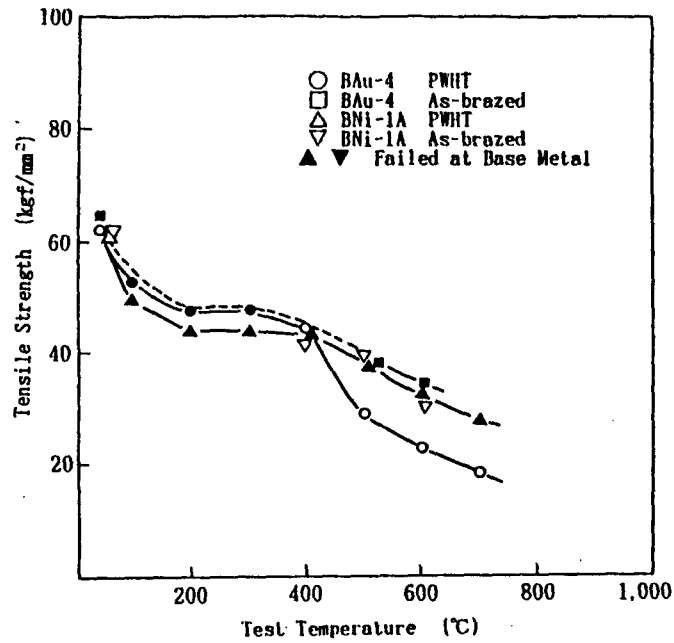


Fig.5 Tensile strength of brazed joints at elevated temperatures. (Inconel X-750)

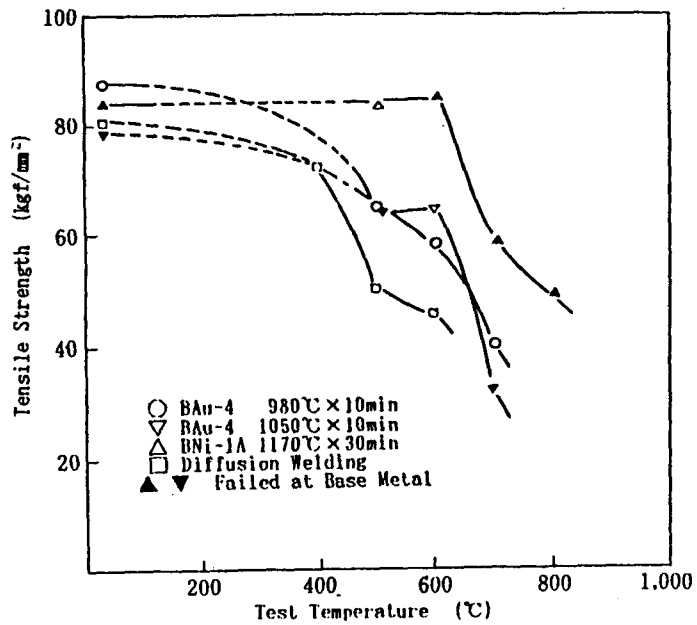
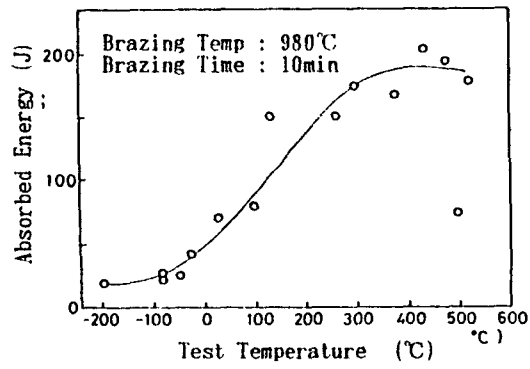


Fig.6 Tensile strength of brazed joints at elevated temperatures. (304 s.s.)

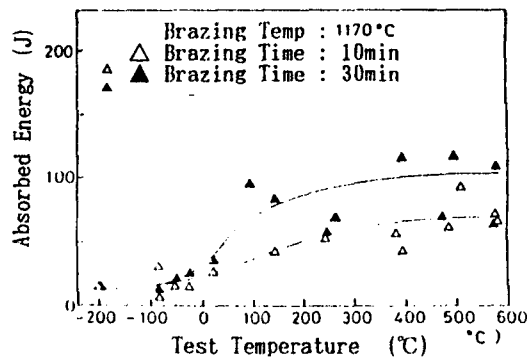
Table 1 Chemical compositions of Ti-based filler metals

Filler Metals	Ti	Zr	Cu	Ni	Liquidus	Solidus
Type 1510 ¹⁾	37.5	37.5	15	10	815°C	805°C
Type 1515 ¹⁾	35	35	15	15	820°C	770°C
Type 5000 ¹⁾	25	25	50	—	815°C	780°C
Ti-Cu-Ni ²⁾	bal	—	25	15	930°C	—

note 1) Amorphous filler metals
 2) Laminated filler metal



(a) BAu-4



(b) BNi-1A

Fig.7 Charpy test results of 304 stainless steel brazed Joints.

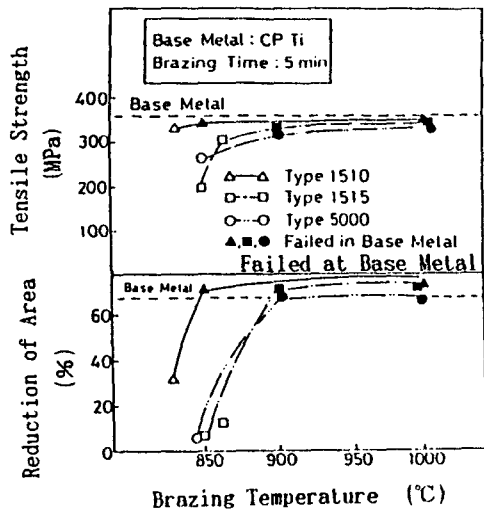
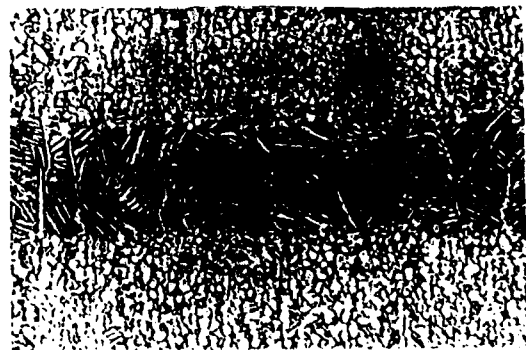


Fig. 8 Relation between brazing temperature and tensile properties of CPTi brazed joints.



(a) ×400



(b) ×100

Fig. 10 Microstructure of Ti-6Al-4V brazed joints

- (a) Brazing Temp : 900°C
- (b) Brazing Temp : 1000°C

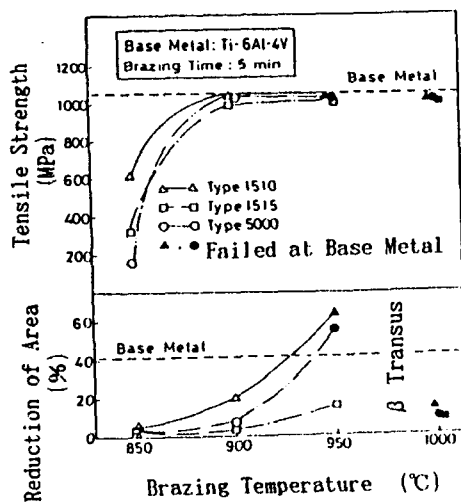


Fig. 9 Relation between brazing temperature and tensile properties of Ti-6Al-4V brazed joints.

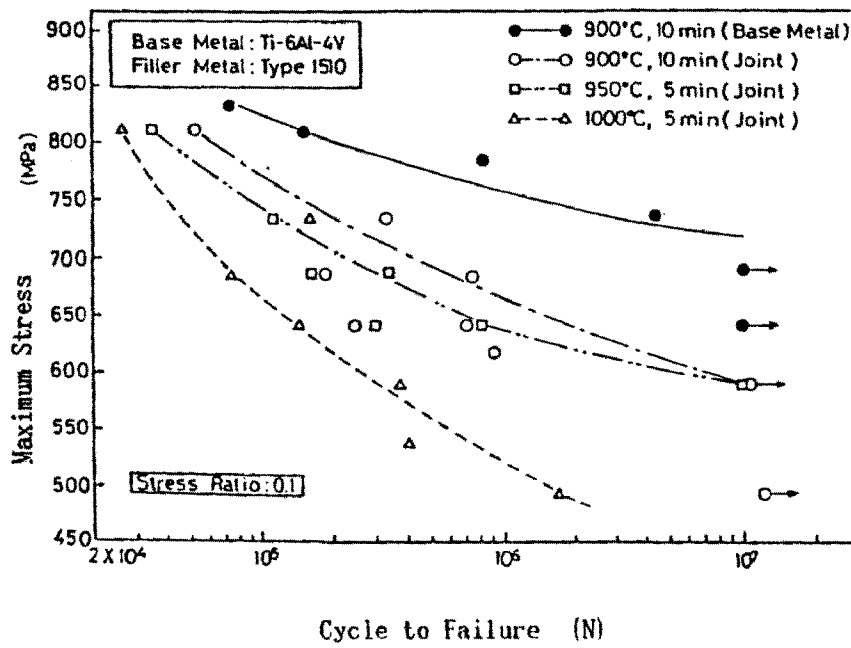


Fig.11 Fatigue properties of Ti-6Al-4V brazed joints