

니켈기 삽입금속에 의한 스테인리스강의 진공 브레이징

The vacuum brazing of stainless steel with Ni-based filler metal

이용원*, 석창성**, 김종훈***

* ASE Korea Inc. Hybrid Module Development Engineering

**성균관대학교 기계공학부

***한국생산기술연구원 의료 반도체연구팀

1. 서론

니켈 삽입금속은 고온강도, 내산화성, 내식성이 우수하며, 색상이 스테인리스강과 흡사하여 스테인리스강의 브레이징에는 최적의 삽입금속이라 할 수 있다.^(1~2) 그러나 니켈 삽입금속은 용점이 1453°C로서, 브레이징에는 고온이므로 Si, B, P 등의 원소를 첨가하여 그 용점을 대거 낮추었다. 이러한 Si, B, P 등의 원소를 첨가함으로써 인해 접합부에 Silicides, Borides, Phosphides 등의 화합물이 형성되어, 브레이징 접합부가 불안정하게 되기 쉽다. 또한 브레이징 온도가 높아서 삽입금속이 모 재와 모 재 입계로 확산하여 모 재를 용석하는 현상이 생긴다.⁽³⁾ 그 때문에 브레이징 공정 및 그 후의 열처리에 의해 접합부 조적을 제어하는 것이 상당히 중요하다. 충분히 안정화된 강도를 얻기 위해서는 타 브레이징과는 현저히 다른 배려가 필요하고, 니켈 브레이징 특유의 성질을 이해할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 니켈 삽입금속에 의한 스테인리스강 브레이징 접합체의 특성에 대해서 검토하며, 그 기계적 성질에 미치는 브레이징 인자를 조사하여, 모 재 강도에 필적하는 접합강도를 얻고자 하였다.

2. 실험방법

본 연구에서 사용한 모 재는 실용재료로서 널리 사용되는 STS 304이며, 삽입금속으로는 그 조성이 Ni-7.0Cr-3.0B-4.5Si-3.0Fe 인 BNi-2계(TB-902, Tokyo Braze Co.)를 사용하였다. 삽입금속의 형상은 Amorphous 형상이며, 그 두께는 30 μ m이다. 브레이징 시험 편은 $\phi 10 \times 50$ mm의 환봉을 사용하였으며, 그 접합되는 면을 여러 등급의 Emery paper 및 Diamond paste에서 한 방향으로 Buff 연마하여 각각의 표면 거칠기를 설정하였다. 또한, #46 숫돌의 평면 연삭기에서도 접합 면을 연마하여 표면 거칠기를 더욱 거칠게 설정하였다.

브레이징은 5×10^5 torr 이상의 고 진공 분위기에서 이루어졌으며, 브레이징 온도가 1010°C ~ 1100°C, 브레이징 유지시간이 1min. ~ 120min.으로 각기 달리하여, 0.8MPa의 가압하에서 실행하였다.

접합체에 대한 성능 평가 시험은 인장시험을 행하여 그 강도를 조사하고, 접합부에 대해 SEM/WDX 분석을 행하여 접합 특성을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 각 브레이징 접합부의 상온 인장강도 시험 결과로서, 브레이징 온도와 인장강도와의 관계를 나타낸 것이다. 이때 브레이징 유지시간은 30min.으로 설정하였다. 인장강도는 브레이징 온도가 높아짐에 따라서 증가하고 있으며, 1100°C에서 약 487MPa이 얻어졌다. 접합기구를 규명하기 위한 접합 계면에서의 SEM/WDX 분석결과를 Fig. 2에 나타내었다. 접합부에는 검은 생성물이 관찰되었는데, 이것은 WDX 분석한 결과 삽입금속의 조성에 근접한 Cr-B의 금속간 화합물(Intermetallic compound)로 추정된다. 모 재 입계에서도 B 성분이 검출되었는데, 이것은 삽입금속에의 B 원소가 모 재 입계를 통해 빠르게 확산된 것에 따라서, 열역학적으로 Cr-B의 화합물이 생성되어진 것으로 생각된다. 이 Cr-B의 화합물은 매우 취약하여 접합부를 불안정하게 만들고 파괴의 근원이 되는 것으로 사료된다.^(2, 4) 접합부에 생성된 화합물의 거동은 브레이징 온도가 높아짐에 따라서 그 면적이 감소하였으며, 최고 강도가 나타난 1100°C에서는 화합물이 거의 관찰되지 않았다.

Fig. 3은 브레이징 온도 1050°C에서의, 브레이징 유지시간과 인장강도와의 관계를 나타낸 것이다.

브레이징 유지시간이 길어짐에 따라서 강도가 상승하여, 120min.간 유지하였을 때 모 재의 87%에 해당하는 534MPa의 아주 양호한 인장강도가 얻어졌다. 대표적인 SEM/WDX 분석 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 앞에서의 결과와 마찬가지로, 브레이징 강도와 생성물의 면적은 상관 관계를 보이고 있으며, 생성물의 면적이 커질수록 브레이징 강도가 감소하는 경향을 보인다. 가장 짧은 유지시간인 1min.에서, 화합물의 면적이 최대이며, 이 때문에 최저의 강도가 나타난 것으로 생각된다. 120min.간 유지하였을 때, 비로소 화합물이 소멸되었으며, 안정화된 접합조직이 나타났다.

일반적으로 니켈 브레이징에 있어서, 등은 응고과정의 율속 기구는 용점 저하원소 B, P, Si 등의 원소가 모 재로 확산하는 것에 의한 것으로서, 본 연구에서도 브레이징 온도를 삽입금속의 용점에서 100℃ 가량 높이고, 브레이징 온도에서 장시간 가열시키는 것에 따라서, B, Si 등의 원소가 모 재 입계로 빠르게 확산되었고, 접합 층에 생성된 취화상을 소멸시킴으로 인하여 높은 브레이징 강도를 얻을 수 있었다고 생각한다.

Fig. 5는 각 브레이징 접합부의 상온 인장시험 결과로서, 표면 거칠기와 인장강도와의 관계를 나타낸 것이다. 이때의 브레이징 온도는 1050℃, 유지시간은 30min.으로 설정하였다. 인장강도는 접합 면의 표면 거칠기 R_{max} 값이 커지는 것에 따라서 증가하는 경향을 보였으며, Emery paper #220에 의한 4.4 μ m R_{max} 에서 약 486MPa의 최고강도가 얻어졌다. 또, #46의 평면 연삭기에 의한 8.8 μ m R_{max} 에서는 인장강도가 감소하였다. Fig 6은 표면 거칠기에 따른 대표적인 시험편의 인장시험 후의 파면의 SEM상을 나타낸 것이다. Fig. 6(a)에서 알 수 있듯이, 표면 거칠기가 0.1 μ m R_{max} 인 경우는 매우 취성적인 상태를 보이고 있으며, 인장강도가 낮게 나타난 결과와도 일치하고있다. Fig. 6(b)의 4.4 μ m R_{max} 의 경우는 파단면 전체에서 Dimple 형상이 관찰되는 점으로 보아 접합 층에 연성이 풍부한 것으로 판단되어 진다.

브레이징에 있어서 젖음성(Wettability)의 개선은 브레이징 강도를 얻는데 에 가장 기본적인 인자가 되며, 접합 표면에 어느 정도의 요철이 있는 것이 용융 삽입금속의 젖음 거동에 있어서 유리하게 작용된다.⁽⁵⁾ 0.1 μ m R_{max} 와 같이 모 재 표면이 너무 매끄러울 경우에는, 용융 삽입금속이 균일하게 분산되기가 어렵고, 또 기계가공에 의한 8.8 μ m R_{max} 와 같이 표면이 아주 거친 경우에는, 평균 접합간극이 넓기 때문에 어느 일부분만 브레이징 될 우려가 있으므로 더욱 장시간의 유지시간을 갖는 것이 필요하다고 생각된다. 한편, 기계적인 관점에서 살펴보면, 표면 거칠기가 커지면 접합 계면에서 브레이징 되는 실 표면적이 커지게 되어 표면 조직간에 기계적 고착(Mechanical interlocking) 현상이 강하게 나타나게되는데, 이 때문에 삽입금속과 모 재간의 결합력도 커지게 된다. 이러한 원인으로 인하여 접합 면의 표면 거칠기가 높을수록 인장강도가 높게 나타나는 것으로 판단된다.

4. 결론

삽입금속의 용점에서 100℃ 이상으로 온도를 올리고, 브레이징 유지시간을 120분 이상으로 장시간 가열하는 것에 의해서 접합부에 형성된 화합물의 형성 원소를 모 재중으로 확산 처리(Diffusion treatment)하여, 브레이징 접합부의 기계적 성질을 안정화시킬 수 있다. 또한, 앞으로는 접합 면의 표면 거칠기도 브레이징 강도의 중요한 인자로 고려되어야 한다고 생각한다.

5. 참고문헌

1. M. D. Bellware : Fundamentals of brazing for elevated-temperature service, Welding Journal, July, 1958, pp. 683 ~691
2. 雀 部謙 : ニッケルろう付(1), ふれいず技術論文集 その9, 平成5年, pp. 11~16
3. 出井 裕, 末澤 芳文 : Pd係ろうによるSUS316L의耐熱ろう付に關する研究, 第 26回 界面接合研究委員會資料, 1991, pp. 1~16
4. E. Lugscheider, K. Klohn, and R. Lison : Strength of the high temperature brazed joints - Influence of brazing parameters, Welding Journal, Oct., 1979, pp. 296-s~300-s
5. Ichiro Kawakatsu and Yoshifumi Suezawa : Effects of surface preparations of base metal on the butt joint strength of mild steel brazed with BAg-8 filler metal(Report 1), Journal of the Japan Welding Society, Vol.40, No.1, 1971, pp. 54~64

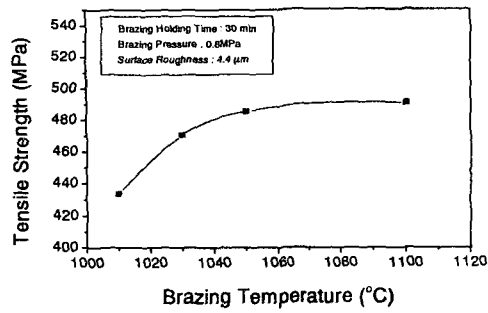


Fig. 1 Effect of brazing temperature on tensile strength at the STS304 joints brazed with BNi-2 filler metal.

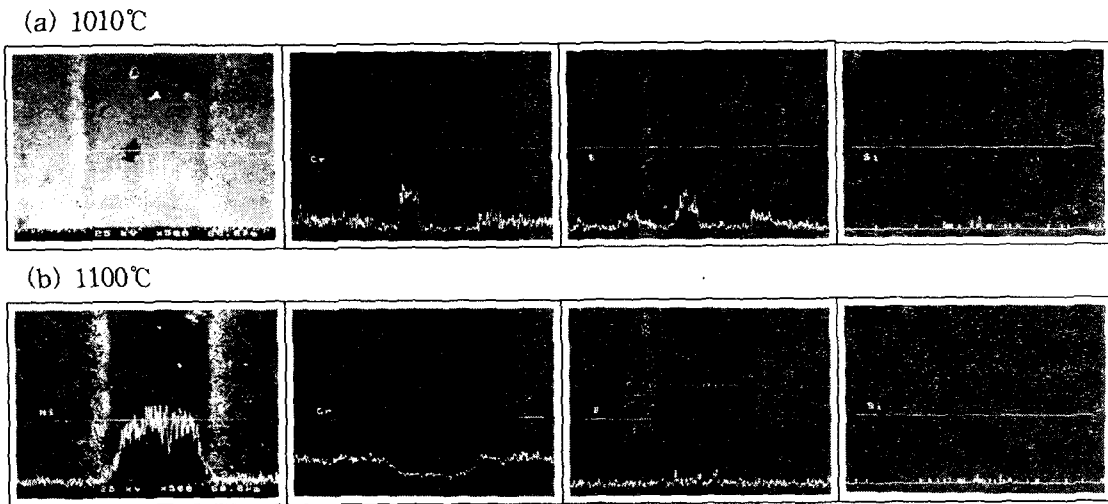


Fig. 2 The result of SEM/WDX analyses showing the effect of brazing temperature in STS304 joints brazed with BNi-2 filler metal

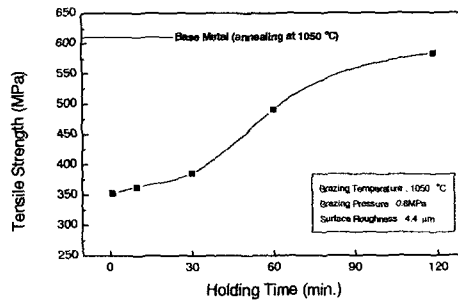


Fig. 3 Effect of brazing holding time on tensile strength at the STS304 joints brazed with BNi-2 filler metal.

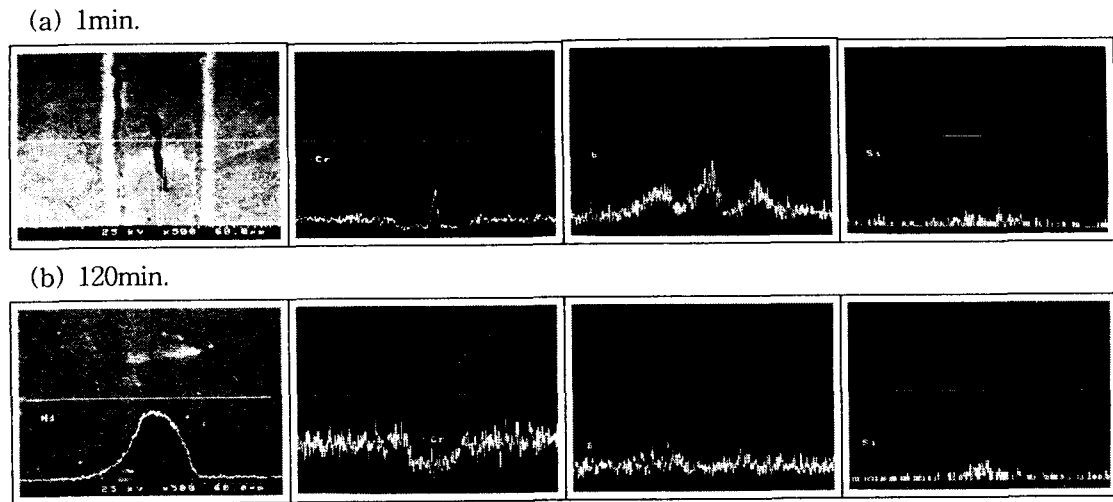


Fig. 4 The result of SEM/WDX analyses showing the effect of brazing holding time in STS304 joints brazed with BNi-2 filler metal

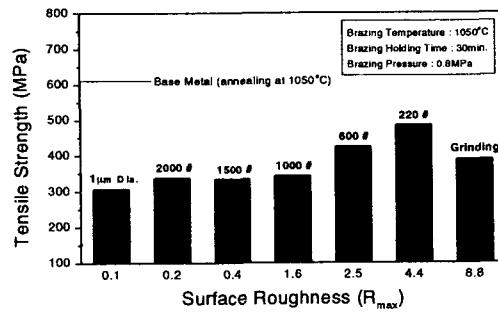


Fig. 5 Effect of surface roughness on tensile strength at the STS304 joints brazed with BNi-2 filler metal.

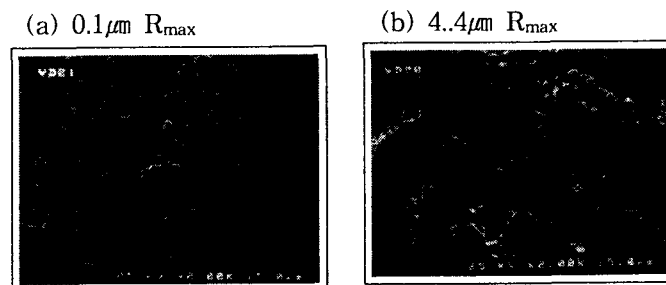


Fig. 6 SEM micrographs of fracture surface after tensile test showing the effect of surface roughness in STS304 joints brazed with BNi-2 filler metal