

스테인리스강의 브레이징 특성

홍성철* · 박준규* · 오주희** · 이재훈*** · 김원중* · 정재필*,†

*서울시립대학교 신소재공학과

**한국켄테크 주식회사

***한국생산기술연구원

Brazing Process of Stainless Steel

Sung Chul Hong*, Jun Kyu Park*, Joo Hee Oh**, Jae Hoon Lee***, Wonjoong Kim* and Jae Pil Jung*,†

*Dept. of Mater. Sci. and Eng., University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

**Chem-Tech Korea, Suwon 443-734, Korea

***Korea Institute of Industrial Technology, Incheon 406-840, Korea

†Corresponding author : jpjung@uos.ac.kr

Abstract

Brazing of a stainless steel was described in this article. Brazing is a joining technology without melting a substrate and joining temperature is higher than 450 °C. Brazing can be broadly applicable across industries. In particular, brazing of stainless steel is widely used in aircraft parts, car engines, heat exchangers, etc. due to its excellent strength, corrosion resistance and other suitable characteristics. Characteristics of the stainless steel depend on their classification like austenitic, ferritic and martensitic stainless steels. In addition, there are many processes in brazing and various parameters such as brazing heat source, filler metals, joint design, etc. Therefore, it is necessary to know basic knowledge about brazing to achieve good brazing joint. Accordingly, properties of stainless steel and design of brazing joint and related process were described in this article.

Key Words : Stainless steel, Brazing, Nickel brazing, Furnace brazing, Filler metal

1. 서 론

브레이징은 자동차, 항공기, 원자력기기, 에어컨 및 냉장고를 비롯한 냉동 공조기기, 액세서리, 초경공구, 방산부품, 수전 금구류, 전기 및 전자기기, 농기계, 건축 배관용 부품 등 산업 전반에 걸쳐 광범위하게 사용되는 접합방법이며, 앞으로도 그 사용처는 계속 늘어날 것이다. 브레이징은 접합기술 중 사용분야 및 응용 범위가 넓고 이종 금속 간에도 다양한 접합이 가능하다. 또한, 크기 및 두께가 다른 제품의 접합이 용이하며, 미려하고 정교한 접합부를 얻을 수 있는 장점이 있다. 이외에도 브레이징 기술은 비교적 쉽게 습득할 수 있고

제품에 따라 다양한 엔지니어링이 가능하며, 복잡한 형상을 갖는 제품의 대량 생산이 가능하기 때문에 제조 원가를 낮출 수 있는 공정으로 현재 산업 사회에서 중요한 위치를 차지하고 있는 공정이다.

스테인리스강의 브레이징에는 동계, 은계, 니켈계 합금이 용가재로 많이 사용되고 있다. 동계 용가재는 저렴한 것이 특징이고, 은계는 우수한 접합 특성을 가지나 고가이며, 니켈계 브레이징 용가재는 고온강도가 높고, 내식성 및 고온 내산화성이 우수하여, 항공기 부품, 각종 엔진, 터빈, 원자로 등에 많이 사용되고 있다. 본 고에서는 스테인리스강과 그 브레이징에 대하여, 브레이징의 개요 및 브레이징 공정 등에 대해서 기술하고자 한다.

2. 스테인리스강의 종류 및 특징

스테인리스강 (stainless steel)은 내식성 향상을 목적으로 크롬 (Cr) 또는 크롬과 니켈 (Ni)을 함유시킨 합금강을 말하는 것으로 일반적으로는 크롬 함유율이 12% 이상의 강을 스테인리스강이라고 한다. 스테인리스강은 표면에 부동태 피막 (Cr_3O_4)을 형성시켜 내부가 부식으로부터 보호되며, 기본적인 화학성분에 따라 Cr계 스테인리스강과 Cr-Ni계 스테인리스강으로 분류된다. Cr계 스테인리스강은 금속조직에 따라 martensite계 스테인리스강과 ferrite계 스테인리스강으로 분류되며, Cr-Ni계는 austenite계 스테인리스강으로 대표된다. 이러한 스테인리스강은 종류에 따라 서로 다른 특징을 가지고 있기 때문에 사용할 때에 별도의 주의가 요구된다. 대표적인 스테인리스강의 특징은 다음과 같다.

2.1 Martensite계 스테인리스강

마르텐사이트 (Martensite, 13Cr강이 대표적)계 스테인리스강은 담금질에 의해 마르텐사이트 조직을 나타낸다. 500°C 이상에서는 강도, 경도가 급감하고, 연성은 급증한다. 경화성 스테인리스강을 말하며, 담금질 경화가 가능하여 공구나 날(刀)이 있는 연장에 사용된다. 이 조직은 강하고 딱딱해서 깨지기 쉽지만, 적당한 열처리를 실시하면 뛰어난 기계적 성질을 얻을 수 있다. 고강도, 고경도가 요구되거나 고온에서 사용되는 것에 이용되고, 구조용 강으로써 널리 이용되고 있다. 내식성 측면에서는 다른 계통의 스테인리스강과 비교해 뒤떨어진다. 용접할 경우는, 용접시의 냉각속도를 낮게 조절하지 않으면 용접부에 균열이 발생하는데¹⁾, 이를 위해서는 충분한 예열을 하는 것이 중요하다. 경도는 탄소량에 관계되며, 일반적으로 탄소의 함유량은 0.15~0.65%의 범위를 가진다. 이 범위에서 크롬은 16~25%, 니켈은 1~3%, 규소, 망간은 1% 이하이다.

2.2 Ferrite계 스테인리스강

페라이트 (Ferrite, 18Cr강이 대표적)계 스테인리스강은, 마르텐사이트계 스테인리스강에 비해 Cr 함유율이 많고, 탄소량이 적기 때문에 내식성은 양호하다. 조성 예는 Cr 14~18%, Si<1%, C<0.12%, Mn<1%이며, 냉간가공도 할 수 있다. 또, 탄소나 질소 등의 원소를 감소시키거나 Al, Ti 등의 페라이트 생성 원소를 추가하면, 적은 Cr 양이라도 페라이트계 스테인리스강을 얻을 수 있다. 페라이트계 스테인리스강은 단조가 용이하므로 강도와 용접성이 중요하지 않은 자동차부품, 화

학공업용 장치 등에 많이 사용된다. 페라이트계 스테인리스강 및 오스테나이트계 스테인리스강을 용접 할 경우는 용접시 냉각속도를 빠르게 하는 편이 좋다. 이를 위해서는 용접 입열을 낮게 하거나 예열을 낮게 하는 것, 또는 예열을 하지 않는 것이 중요하다. 스테인리스강은 열전도도가 낮으므로 서열, 서냉하여 균열을 방지한다. Cr의 함유량이 17% 이상인 고 크롬강은 고온에서 장시간 가열하면 475°C 부근에서 경도가 상승하여 취화하는데 이것을 475°C 취성 (brittleness)이라 한다. 또한 600°C 전후에서 장시간 가열될 경우 Fe-Cr의 화합물인 시그마 (σ)상이 금속 조직의 입계에 생성되어 취화되는 시그마 취성도 발생하기 때문에 사용할 때 주의를 요한다.

2.3 Austenite계 스테인리스강

오스테나이트 (Austenite)계 스테인리스강은, 일반적으로 18-8 스테인리스강이라고도 불리고 있다. 냉간가공에 의해서만 경화되고, 열처리로는 경화되지 않는다. Fe-Cr-Ni계에 대하여 1,050~1,100°C에서 급랭시키면 준안정한 오스테나이트 조직이 나타난다. 17~20% Cr, 7~10% Ni의 소위 18-8 스테인리스강이 대표적이다. 오스테나이트계 스테인리스강의 단점 중 한가지로 입계 부식이 있다. 입계 부식이 발생하는 것을 강의 예민화 (sensitize)라 하며 용접 후 내식성을 감소시킨다. 입계부식의 원인은 결정입계 부근의 Cr 원자가 C 원자와 결합해서 탄화크롬 ($Cr_{23}C_6$)을 형성하게 되면 결정입계 부근의 조직은 Cr의 함유율이 12% 이하로 낮아지게 되어 그 부분이 결정립의 내부에 비하여 내식성이 감소하는데 있다²⁾. 입계부식의 대책으로, 탄소 함량을 0.03% 이하로 낮게 하거나 Ti, Nb 등을 첨가하는 방법이 있으며, 오스테나이트계 스테인리스강을 고용화 열처리하는 방법이 있다. 고용화 열처리 방법은 가공에 따른 변형이나, 용접에 따른 변형³⁾, 또는 가공 중에 생긴 탄화물을 고용화하여 완전한 오스테나이트 조직으로 전환시키는 열처리이다. 고용화 열처리 후에는 급냉하는 것이 중요하다. 오스테나이트 스테인리스강은 일반적으로 Cr계 스테인리스강보다 내식성은 물론 기계적 성질, 용접성 등이 뛰어나기 때문에 다양한 용도로 이용된다.

3. 스테인리스강의 브레이징

자동차나 스테인리스 부품 열교환기는 구리, 니켈 또는 철을 기본으로 하는 브레이징 용가재 (filler)를 사용하여 브레이징 접합하여 제조한다. 특히 내부식성과

내산화성이 요구되는 경우에는 니켈 브레이징 접합이 가장 널리 사용되고 있다.

3.1 브레이징의 개요

브레이징이란 접합하고자 하는 금속 (모재: base metal)보다 용융점 (melting point)이 낮은 용가재를 사용하여 두 모재를 접합하는 기술로, 모재의 용융점 이하에서 열을 가하여 두 모재를 접합하는 기술을 의미한다. 이 때문에 용가재를 이용한 접합 방법 중 브레이징은 모재의 용융점 이상에서 접합이 이루어지는 용융 용접 (welding)과, 용융점이 450°C 이하인 경우로 한정되는 솔더링 (soldering)과 구분할 수 있다⁴⁾.

브레이징의 주된 원리는 모재 사이에 용가재를 페이스트 (paste)나 박판(sheet) 등 다양한 형태로 도포한 후 가열하면 용가재가 용융되고, 용융된 용가재가 젖음 (wetting) 및 모세관 현상 (capillary action)에 의해 모재 사이로 침투하여 접합하는 것이라 할 수 있다⁵⁾. 젖음성은 용가재가 용융되었을 때 모재와의 친화력 여부, 또는 플럭스 (flux)나 분위기 (atmosphere)에 따라 결정된다⁶⁾. 모세관 현상은 접합간격과 밀접한 관계가 있으며, 용가재 및 플럭스의 종류, 점도, 밀도, 접합면의 증력에 대한 위치, 가열방법 등과도 밀접한 관계가 있다⁷⁾. 만약 용가재와 모재와의 젖음성이 나쁘면 접합이 이루어지지 않으며, 접합간격이 크면 양 모재 사이에 용가재가 충분히 충전되지 않기 때문에 불완전한 접합이 된다.

브레이징 기술이 오늘날 급격한 산업발달 과정 속에서 가장 광범위하게 사용되는 접합기술의 하나로 자리 잡은 이유는 다음과 같은 이점을 가졌기 때문이다.

- ① 이종금속 부품간의 접합이 가능하여 재료의 원가절감이 가능함과 동시에 새로운 부품의 개발도 가능하다.
- ② 접합 금속의 크기 및 두께가 다른 경우에도 접합이 용이하며, 다른 접합보다 비교적 강한 접합강도를 가진다.
- ③ 접합부 (joint)가 깨끗하기 때문에 추가로 기계적

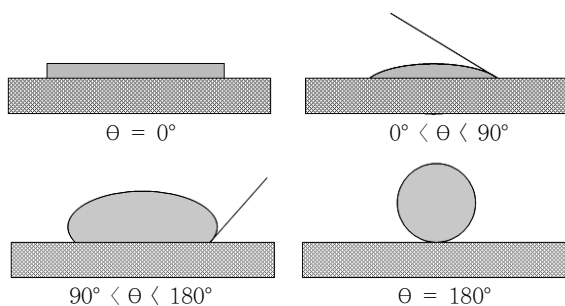


Fig. 1 Schematic of wettability and wetting angle



Fig. 2 Example of stainless steel heat exchanger by brazing

인 가공을 할 필요가 없으며, 접합부가 금속 야금학적인 접합이기 때문에 연성, 내충격성, 내진동성, 기밀성, 열전도성, 내식성 등 다양한 특성을 가진 브레이징이 가능하다.

④ 자동 브레이징/솔더링 기계에 의하여 자동화가 용이할 뿐만 아니라 봉, 선재, 판재, 특수형상, 페이스트 등 다양한 형상의 재료 선택이 가능함에 따라 다양한 엔지니어링이 가능하다.

이러한 이점으로 인하여 자동차, 항공기, 원자력기기, 에어컨 및 냉장고를 비롯한 냉동 공조기기, 액세서리, 초경공구, 방산부품, 전기 및 전자기기, 농기계, 건축 배관용 부품 등 산업 전반에 대단히 광범위하게 사용되는 접합 방법이며, 앞으로도 그 사용처는 무궁무진하다고 할 수 있다.

3.2 브레이징 이음부

브레이징의 단계는 크게 접합면의 설계, 모재 세척, 플럭스 도포, 제품 조립, 브레이징, 후처리 작업으로 나눌 수 있다⁸⁾. 접합면의 설계는 접합 형태 및 접합 간격을 결정하는 단계이다. 접합 형태에는 맞대기 접합과 겹치기 접합이 있으나, 실제 설계에서는 혼합되어 사용하는 경우가 많다.

접합 간격은 브레이징의 중요한 요소 중 하나인 모세관 현상을 결정하는 요인으로, 접합 표면의 거칠기 및 접합 온도에서의 열팽창 계수 등을 고려하여 설계해야 한다¹⁰⁾.

그림 3과 4는 각각 스테인리스강 및 은 (Ag) 브레이징부의 접합부 간격에 따른 인장강도 변화를 보인 것이다¹¹⁾. 그림 3에서 보듯이 플럭스를 사용하는 경우, 접합부 간격이 좁아질수록 인장강도가 증가하다가 0.002 인치 (0.005 mm)일 때 인장강도가 최대가 되며, 0.005 mm 이하에서는 다시 인장강도가 감소하는 것을 볼 수 있다. 반면 그림 4와 같이 플럭스를 사용하지 않고 분위기 가스를 사용하는 경우에는 접합부 간격이 좁아질수록 인장강도가 높아짐을 알 수 있다.

브레이징에서 발생 가능한 불량은 대부분 설계 단계

Table 1 Thermal expansion coefficient of various base metals⁹⁾

합금	열팽창 계수 (IN/IN/OF × 10 ⁻⁶)	21℃~648℃에서 25.4mm가 팽창하는 길이 (mm)
동	9.84	0.28
90-10 황동	10.2	0.30
67-33 황동	11.2	0.33
5% 인 청동	10.5	0.30
8% 인 청동	10.1	0.30
알브론즈	10.1	0.30
18% 니켈-은	9.3	0.25
베릴륨 동	9.2	0.25
탄소강	6.7	0.20
회주철	6.2	0.18
18-8 스테인리스 강	10.4	0.30
모넬	7.8	0.23
텅스텐 카바이드	3.3	0.10
은 브레이징 합금	10.0	0.30

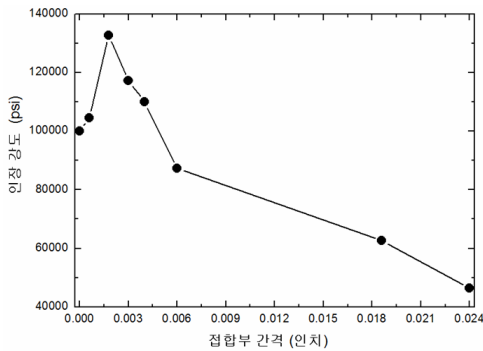


Fig. 3 Relationship between joint spacing and tensile strength of stainless steel (BAg-Flux)¹¹⁾

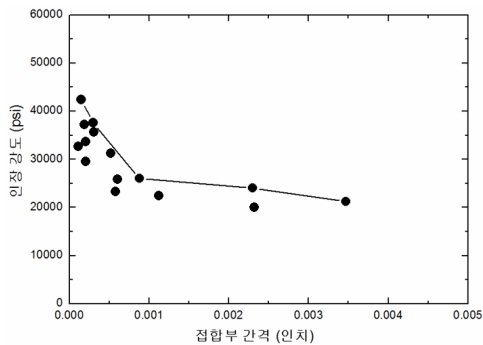


Fig. 4 Relationship between joint spacing and tensile strength of Ag-brazing (Induction heating, 10% H₂-90% N₂, fluxless)¹¹⁾

에서 해결 가능하다. 따라서 설계자는 설계 단계에서 접합부의 강도, 가공 기술 능력과 설비 수준, 용가재 및 플럭스, 모재 등에 대한 지식을 바탕으로 설계를 진행하여야 한다¹²⁾.

3.3 모재 세척과 플럭스

모재 세척은 모재 표면의 오일 (oil), 그리스 (grease), 녹 (rust), 또는 산화스케일 (scale), 페인트 잔류물 등을 제거하는 단계로, 세척 방법에는 솔벤트 (solvent) 사용 기름 제거법 (solvent degreasing), 세척제 사용법, 산 세척법 (acid pickling), 초음파 세척법 등 다양한 방법이 있으며 그 제품에 맞는 적당한 세척법을 선택해야 한다¹³⁾. 특히 스테인리스강은 탄소강보다 산화되기 쉬운 원소 (Cr)를 함유하고 있기 때문에 세척을 더 철저하게 해야 한다. 탈지로는 용제나 알칼리 등을 사용할 수 있으며, 오스테나이트계 스테인리스강은 (8~20%) 질산+(1~4%) 불화수소산+물용액으로 세척할 수 있다. 세척한 것은 바로 브레이징하는 것이 좋지만, 그렇지 못할 경우 오염이나 습기를 방지할 수 있는 밀폐 용기나 봉지 중에 보관해야 한다.

플럭스는 고온에서 금속의 공기 노출에 의한 산화 방지, 혹은 그 밖의 불필요한 물질을 직접 분해 또는 제거를 촉진시키거나 생성 자체를 방지하기 위하여 도포된다¹⁵⁾. 만약 플럭스 및 분위기의 선택이 잘못 되었을 경우 젖음성에 영향을 주게 되어 불량률이 발생하게 된다. 예로, 스테인리스강에 BAg를 삼입금속으로 하여 브레이징 할 경우, 봉사나 봉산 플럭스에서 결함 (void)이 발생한다. 이 경우, 적당량의 불화물을 함유하는 것을 사용하여 모재를 세척하는 방법으로 결함 문제를 해결할 수 있다¹²⁾. 세척 이후 제품을 조립하고 브레이징을 실시한다. 브레이징 시 열원으로는 가스 (gas), 전기 저항열, 유도 가열 등 다양하다.

또한 브레이징 시 다음의 사항을 유의할 필요가 있다. 브레이징 시 인체에 유해한 가스를 유발할 수 있으



Fig. 5 Comparison of brazing joint (source: Sehyang Inc. Co.)¹⁴⁾

므로 발생하는 가스의 환기가 필요하며, 충분한 양의 플럭스를 도포해야 한다. 모재 전체에 걸쳐 광범위하고 균일한 가열을 해야 하며, 모재나 용재에 인체에 유해한 원소가 포함되어 있는지 정확히 파악 할 필요가 있다. 만약 가열 온도가 부족하거나 불균일하게 될 경우 온도 편차에 의하여 용가재가 균일하게 퍼지지 못하기 때문에 불량 발생 할 수 있다. 브레이징이 끝난 후에는 부식 방지 및 청결도 유지 등을 위하여 플럭스 잔재 등의 세척이 필요하다.

4. 맺 음 말

최근 열교환기, 연료전지 등의 분야에서 성능향상을 위해 브레이징의 수요가 증가하고 있으며, 이에 따라 브레이징을 이용한 산업에서도 기술적 측면, 경제적 측면, 환경적 측면을 고려하여 새로운 접합 방법의 개발 및 유해 물질이 없는 페이스트 개발 등에 힘쓰고 있다. 브레이징을 이용한 접합 기술은 대량 생산 및 높은 강도, 작업의 편리성 등의 이점으로 인하여 그 적용 분야는 점점 더 확대될 것으로 생각된다. 이에 본고에서 스테인리스강의 모재와 이음부 형상, 세척 등 브레이징에 관한 기초에 대해 살펴보았다. 본고를 통하여 브레이징에 관한 이해와 응용에 다소나마 도움이 되기를 기대한다.

감사의 글

본 논문은 제조현장 녹색화기술개발사업(SL122745)과 2011년도 서울시립대학교 학술연구용 첨단과제의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 손형수 : Ni기 삽입금속을 사용한 Martensite계 스테인리스강의 진공브레이징 접합부의 미세조직, 부산대학교 석사학위논문, 2008 (in Korean)
2. 김태호 : 예민화 열처리된 오스테나이트스테인레스 강의 입계 부식거동, 경북대학교 석사학위 논문, 1986 (in Korean)
3. C. S. Woo, C. H. Hong, J. G. Kim, J. Y. Kang, S. H. Hong, S. H. hong : A study on the brazing between Duplex stainless steel and Austenitic stainless steel with Ni-base insert meta, Abstracts of KWS, 1999 (in Korean)
4. G. Humpston and D. M. Jacobson : Principles of Soldering and Brazing, The Materials Information Society, 1994
5. T. I. Yu, J. P. Jung, Y. S. Shin : Practical Brazing Technology, 주식회사 기술정보 (in Korean)
6. 김정일 : 브레이징에서 熔融 挿入 金屬의 젖음성에 관한 研究, 목포해양대학교 논문집 7(1) (1999), 169-175 (in Korean)
7. 한정섭 : 선박용 heating coil의 브레이징에 관한 연구, 동아대학교 해양자원연구소 연구논문집, 19 (2007), 57-51 (in Korean)
8. 신영식 : 브레이징/솔더링 합금의 선행피복 공정 개발, 한국산업기술대학교 석사학위논문, (2003) (in Korean)
9. <http://www.skbrazing.com>
10. 김정일 : 브레이징 이음부의 최적 접침비에 관한 연구, 목포해양대학교 논문집 11집 (2003), 61-66 (in Korean)
11. AWS, Brazing Handbook, 1991
12. C. Y. Kang : Brazing defect, Journal of KWS 18-6 (2000), 672-674 (in Korean)
13. 실무위주의 브레이징 접합기술 5, 기술정보 기계기술 32-5 (2005), 102-111 (in Korean)
14. http://www.sehyangi.co.kr/product/pro01_03.html
15. Y. S. Shin : Selection Technology for Brazing Fluxes, Journal of KWJS, 22-5 (2004), 18-25 (in Korean)



- 홍성철
- 1975년생
- 서울시립대학교 대학원생(박사과정)
- 3D 패키징, 전해 도금 및 특성 평가
- e-mail : callihong@naver.com



- 이재훈
- 1960년생
- 한국생산기술연구원 수석연구원
- 재료 설계 및 강도, 수명 평가
- e-mail : jaehlee@kitech.re.kr



- 박준규
- 1986년생
- 서울시립대학교 대학원생(석사과정)
- 전해도금 특성 평가 연구
- e-mail : jkman001@uos.ac.kr



- 김원중
- 1956년생
- 서울시립대학교 교수
- 금속 가공
- e-mail : wjkim@uos.ac.kr



- 오주희
- 1966년생
- 한국켄테크(주) 대표이사
- 금속 분말 페이스트
- e-mail : jhoh@ctknet.kr



- 정재필
- 1959년생
- 서울시립대학교 교수
- 마이크로접합, 전자패키징, 전해도금
- e-mail : jjjung@uos.ac.kr