오스테나이트계 스테인리스강의 확산접합 특성에 관한 연구

정 호 신^{*,†} · 방 국 수^{**}

^{*}부경대학교 재료공학과

^{**}부경대학교 신소재시스템공학과

Study on Diffusion Bonding Characteristics of Austenitic Stainless Steels

Ho-Shin Jeong^{*,†}, and Kook-Soo Bang^{**}

^{*}Dep. of Materials Science & Engineering, Pukyong National University, Busan, 48513, Korea

^{**}Dep. of Advanced Materials System Engineering, Pukyong National University, Busan, 48513, Korea

[†]Corresponding author : hsjeong@pknu.ac.kr

(Received September 18, 2018 ; Revised October 7, 2018 ; Accepted October 24, 2018)

Abstract

This study was conducted by using type 304 austenitic stainless steel as experimental material to clarify the diffusion characteristics of diffusion bonding and diffusion brazing. The bonding variables such as the bonding pressure, bonding time and surface roughness affecting the tensile behavior of joints. The main results obtained were as follows:

1. The tensile strength of diffusion bonded joint was almost equivalent to that of the base metal, and the joint efficiency of almost 100%.
2. Although the surface roughness did not have significant influence on the tensile strength of diffusion bonded joints, it shows notable difference in terms of the fracture appearance.
The fracture occurred in the interface of bonded joints when the surface roughness was not so smooth. However, all of the tensile specimen fractured at base metal and showed typical a cup and cone fracture, when the surface was smooth.
3. The pressure was an extremely critical factor when conducting diffusion brazing. It was observed that as the pressure became higher, the better interface was produced, showing high quality interface with the tensile strength of the joints amounting to nearly 500MPa.
4. The homogenization heat treatment after diffusion brazing had some influence on the strength of joints.

Key Words : Diffusion bonding, Diffusion brazing, Homogenization, Surface roughness, Tensile strength

1. 서 언

오스테나이트계 스테인리스강은 현미경조직이 오스테나이트 조직 또는 소량의 델타 페라이트를 함유하는 면심입방격자로서 연성과 인성이 좋고 내식성, 고온특성, 가공성 등을 비롯하여 각종 물리적, 기계적 특성이 우수하여 공학 분야 전반에 걸쳐 폭넓게 사용되고 있는 대표적인 합금강이다. 이와 같이 많은 장점이 있는 재료임에 불구하고 응력부식균열 감수성이 높다는 점, 비

강도가 상당히 낮다는 점, 열팽창계수가 크고, 열전도도 탄소강에 비해 낮다는 점 등의 문제점에 의해 용접하면 용접변형이 심하고 응고균열 감수성이 크다는 치명적인 약점¹⁾도 가지고 있다. 특히 두께가 두꺼운 경우에는 용융용접하면 응고균열 감수성이 커서 응고균열을 방지하기 위하여 소량의 델타 페라이트를 함유하도록 함금설계한 강종도 있다. 그러나 델타 페라이트가 존재하면 응고균열 방지에는 효과가 있지만 연성과 인성이 저하하고 내식성도 나빠지는 문제도 존재한다. 따라서 용접부에 델타 페라이트가 존재하지 않는 상태가 가장

바람직하지만 용융용접으로는 이와 같은 상태가 얻어지기 어렵다. 특히 ASME의 압력용기 용접 시공 표준에는 응고균열의 발생을 방지하기 위하여 용접부에 델타 페라이트가 5% 이상 함유되도록 규정하고 있다. 이와 같이 델타 페라이트가 존재하지 않는 재료를 용접하기 위해서는 응고과정이 동반되지 않는 확산용접이 좋은 대안이 될 수 있다. 특히 최근에는 각종 전자산업 분야에서 오스테나이트계 스테인리스강의 확산접합이 요구되고 있고, 그 예로는 MLCC 등의 제조에 필수적인 각종 공구나 지그 등의 경우에는 변형을 극소화하여야 할 뿐 아니라 삽입재를 전혀 사용하지 않고 접합하여야 하는 매우 정밀한 마스크 등의 접합도 요구되고 있다. 또 접합 면적 대비 길이가 긴 봉재의 경우에는 접합시의 좌굴이 문제되어 접합시의 가압력을 최소화하여야 하는 등 종래와는 다른 사용 환경에 의해 오스테나이트계 스테인리스강의 접합을 다른 관점에서 고려하여야 하는 경우가 많이 생기고 있다. 이와 같은 관점에서 본 연구에서는 오스테나이트계 스테인리스강의 확산접합에 관련되는 각종의 접합 인자와 접합 특성과의 상관관계를 조사하여 최적의 물성과 접합특성이 얻어지는 확산 접합 조건의 정립과 가능한 한 가압력을 줄여서 접합할 수 있도록 확산 브레이징 조건도 정립하고자 하였다.

이와 같은 관점에서 소재로는 오스테나이트계 스테인리스강의 대표적인 재료인 STS304를 이용하여, 진공 중에서의 고상확산 및 확산 브레이징 접합 특성을 조사하고자 하였다.

확산 브레이징에는 Fe-B-Si계의 삽입재를 이용하여 최소한의 가압력으로 접합하기 위한 조건을 정립하고자 하였다.

또한 접합 조건에 따른 현미경조직과 접합부 물성과의 상관관계를 검토하고 접합에 따른 조직의 변화 유무와 기계적인 특성 사이의 관계를 조사하고자 하였다. 이와 같은 연구를 통하여 오스테나이트계 스테인리스강의 확산 접합 특성을 파악함으로써 특히 정밀접합이 요구되는 분야에의 적용성을 높일 뿐만 아니라 접합부의 신뢰성을 높이기 위한 기초 자료를 확립하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 실험재료

실험에 사용한 확산접합용의 모재는 직경 16mm의 오스테나이트계 AISI304 봉재로 이 봉재를 선반가공하여 직경을 15mm로 함과 아울러 접합면과 봉재의 축이 수직이 되도록 하기 위하여 접합면 및 그 반대면을 선반 가공한 후 접합할 면과 반대측 면을 모두 연삭가공하였다. 그 후 사포 400번(Ra 16) 및 1000(Ra 5.2)

Table 1 Chemical composition of AISI304 stainless steel

Material	Chemical composition, wt. %						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
STS304	0.050	0.380	1.041	0.0307	0.048	18.118	8.076

두 종류로 표면 조도를 조절하였다. 확산 브레이징용 삽입재로는 Nilaco사의 Fe-B 계의 Fe-4B-3Si의 두께 25 마이크로미터의 삽입재를 사용하였으며, 접합재의 표면 조도는 사포 400번으로 연마하여 표면조도를 통일하여 접합하였다.

Table 1에 모재인 STS304의 화학성분과 기계적 특성을 나타내었다.

2.2 접합 조건

고상확산접합 조건은 진공도 약 5×10^{-5} Torr의 조건 하에서 오스테나이트계 스테인리스강의 용체화처리온도인 1050℃를 접합온도로 하였고, 예비실험의 결과를 토대로 가압력이 10 MPa 이하일 경우에는 접합부의 접합률에 산포가 커서 그다지 의미가 없다고 판단하여 가압력은 9.8MPa로 통일하였고, 1050℃에서의 유지시간을 10분, 20분 및 30분으로 변화시켰으며, 접합후에 서냉하면 탄화물이 석출될 수 있기 때문에²⁾ 이를 방지하기 위하여 접합후의 냉각시에는 진공로에 5 bar로 질소를 분사하여 급속냉각하여 용체화처리와 유사한 조건으로 냉각하였다.

또한 고상확산접합에 미치는 표면 상태의 영향을 조사하기 위하여 사포 400번 및 사포 1000번으로 접합면을 연마하여 접합시간과 표면조도의 영향을 조사하였다.

Table 2에는 확산접합조건을 나타내었다.

또 확산 브레이징의 경우에는 삽입재의 용점이 약 1200℃이므로 진공로에서 접합온도 1200℃, 이 온도에서의 유지시간을 10분으로 하였다. 접합시의 가압력

Table 2 Diffusion bonding conditions for AISI 304 austenitic stainless steels

No. of Specimen	diffusion bonding temp., °C	bonding time, min	bonding pressure, MPa	Surface condition
1	1050	10	9.8	#400 polished
2	1050	10	9.8	#1000 polished
3	1050	20	9.8	#400 polished
4	1050	20	9.8	#1000 polished
5	1050	30	9.8	#400 polished
6	1050	30	9.8	#1000 polished

Table 3 Diffusion brazing condition for AISI 304 austenitic stainless steels

No. of specimen	Filler metal	Diffusion Brazing cond.	Homogenization temp., °C	Holding time, min
DB-1	FE-4B-3Si	1200°C, 10min, 1MPa	1050	10
DB-2	“	“	“	20
DB-3	“	“	“	30
DB-4	“	“	“	60
DB-5	“	“	“	90
DB-6	“	“	“	120
DB-7	“	“	“	150
DB-8	“	1200°C, 10min, 3MPa	“	10
DB-9	“	“	“	20
DB-10	“	“	“	30
DB-11	“	“	“	60
DB-12	“	“	“	90
DB-13	“	“	“	120
DB-14	“	“	“	150

을 1MPa 및 3MPa 로 하여 접합시의 가압력의 영향도 조사하였다. Table 3에 확산 브레이징 조건을 나타내었다. 이 경우에도 접합 종료후에는 질소를 이용하여 상온까지 5분 이내에 냉각한 후 균질화의 목적으로 1050°C에서의 유지시간을 10분, 20분, 30분, 60분, 90분, 120분 및 150분으로 하였다. 이 경우에도 균질화를 위한 가열시간 종료후에는 질소 가스로 5분 이내에 상온까지 냉각하였다.

인장시험편은 KS B0801의 4호 시험편으로 전장 150mm, 평행부 직경 12.5mm, 평행부 길이 60mm이며 시험편 표면은 연삭가공하였다. 이 시험편을 부하속도 5mm/min의 조건으로 실시하여 인장강도를 측정하여 접합강도를 평가하였다.

2.3 접합부의 조직 관찰

접합부의 조직을 관찰하기 위하여 접합부 단면을 마운팅한 후 폴리싱하였다. 그 후 증류수 100ml에 10% 옥살산을 넣어 에칭 용액을 조제하였고, 시편 단면적 1cm²당 1A의 전류를 1분간 통전하여 전해 에칭하여 광학현미경 및 전자현미경으로 관찰하였다. 확산접합부에 대한 인장시험 결과 파단 거동에 뚜렷한 차이가 존재하여 그 원인을 조사하기 위하여 주사식 전자현미경(SEM)으로 접합계면을 관찰하였다.

2.4 인장시험

인장시험은 KS 4호 시험편을 각 실험 조건당 최소 3개씩 KS B0802에 준하여 시험을 실시하였다. 304

모재의 강도는 냉간압연한 상태에서는 가공경화의 영향으로 냉간압연된 소재의 강도가 높기 때문에 접합재의 이음 효율을 이와 비교하는 것은 의미가 없기 때문에 접합재의 비교 표준 강도를 알기 위해 1050°C에서 5bar로 급속냉각하여 용체화처리한 모재에 대해서도 인장시험하여 접합부의 강도와 비교하기 위한 표준으로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 접합부의 인장시험 결과

AISI 304 as-received재의 인장강도는 738.63MPa, 1050°C에서 용체화처리한 모재의 인장강도는 585.97MPa 이었다. 이 용체화처리한 모재의 인장강도를 접합재의 강도를 비교하기 위한 표준으로 하였다.

Fig. 1은 접합면의 조도를 #400번으로 통일하여 확산접합한 경우의 인장강도를 나타낸 것이다. 접합시간이 10, 20 및 30분으로 변화함에 따른 강도의 차이는 매우 작고, 거의 590MPa 정도이다. 이 결과로부터 확산접합부의 접합강도에는 확산시간 10분 이어도 충분히 모재에 필적하는 강도가 얻어짐을 알 수 있다. 이 경우의 접합부의 이음효율은 모재의 인장강도가 585.97MPa 이기 때문에 거의 100%라고 할 수 있다.

Fig. 2는 접합면의 조도를 1000#으로 하여 확산접

Fig. 1 The relation between tensile strength and diffusion bonding time(polished to #400) **Fig. 2** The relation between tensile strength to diffusion bonding time(polished to #1000)

합한 경우의 인장시험 결과를 나타낸 것이다. 이 경우에도 접합시간에 따른 접합부의 강도에는 차이가 거의 존재하지 않고 585-590MPa 정도의 범위에 있다. 이 경우에도 Fig. 1의 결과와 마찬가지로 이음 효율은 거의 100%이었다.

위에서 서술한 바와 같이 거시적인 물성이라고 할 수 있는 인장강도에는 접합시간이 큰 변수가 되지 않고 강도에 기여하는 인자가 단순한 것으로 생각할 수도 있다. 그러나 인장강도에는 거의 차이가 없음에도 불구하고 후술하지만 인장시험편의 파단 양상에는 매우 뚜렷한 차이가 존재함을 알 수 있었다.

Fig. 3에는 Fe-4B-3Si 계의 삽입재를 사용하여 접합시의 가압력을 1MPa, 접합온도를 1200℃, 접합시간 10min의 조건으로 접합하고 질소를 분사하여 냉각한 후 접합부를 균질화하기 위하여 다시 1050℃로 가열하여 이 온도에서의 유지시간을 변화시킨 경우의 인장강도를 조사한 결과이다. 이 결과로부터 알 수 있는 바와 같이 균질화시간과 접합 강도 사이에는 의미있는 상관관계가 존재하지 않고 대체로 강도 수준도 낮음을 알 수 있다. 이는 접합시의 가압력이 낮아 접합 계면 형성과 확산이 불충분하기 때문인 것으로 사료된다. 이에 대해서는 파단면의 양상과 대비시켜 보면 그 경향을 알 수 있기 때문에 후술하기로 한다

Fig. 4에는 1200℃에서 3MPa의 압력으로 가압하여 확산브레이징한 후 질소로 냉각한 후 다시 1050℃로 가열하여 이 온도에서의 균질화시간을 변화시킨 경우의 접합부의 강도를 나타낸 것이다. 이 경우에는 가압력 1MPa의 경우와 비교하여 접합부의 강도가 현저하게 높음을 알 수 있다. 균질화시간 60분이 되면 거의 강도는 포화 상태에 이르고 더 이상 균질화하여도 강도에는 크게 변화가 없음을 알 수 있다. 따라서 확산 브레이징부의 화학성분을 완전히 균일하게 하여야 할 필요가 있지 않는 한 균질화 시간은 60분으로 충분할 것으로 사료된다. 이상의 결과로부터 확산 브레이징할 경우에는

Fig. 3 The variation of diffusion brazed tensile strength of 304 stainless steel joint(bonding pressure : 1MPa, bonding time : 10min. at 1200℃)

Fig. 4 The variation of diffusion brazed tensile strength of 304 stainless steel joint(bonding pressure : 3MPa, bonding time : 10min. at 1200℃)

적절한 압력을 부가하는 것이 계면 형성과 확산의 조장 및 접합부 강도 상승 등에 효과가 있다는 것을 확인할 수 있다.

Lugscheider과 E. Cosak은 321 스테인리스강을 3종의 저P계 삽입재를 사용하여 1040-1190℃에서 10분, 60분 브레이징하여 인장시험한 결과 이음부 간격(joint clearance)이 작은 경우에는 접합부의 강도가 거의 모재의 강도와 유사하지만 이 값이 커지면 거의 1/2 이하로 접합부의 강도가 낮아진다는 결과³⁾를 발표하고 있다. 이 연구자들의 연구 결과와 마찬가지로 본 연구에서도 가압력이 낮아지면 특히 오스테나이트계 스테인리스강은 열팽창계수가 크고, 이에 따라 접합온도에서의 팽창에 의해 이음부 간격이 커지는 결과가 초래될 것으로 사료된다. 예를 들면 동종재라고 하더라도 직경이 다른 파이프재를 접합할 경우 내측, 외측 파이프 사이의 이음부 간격이 커지게 되고 이에 따라 확산 브레이징부의 강도가 낮아지게 될 것이다. 따라서 확산 브레이징의 경우에는 열팽창에 기인하는 변형을 어느 정도 억제할 수 있을 정도의 가압이 필요할 것으로 결론 내릴 수 있다.

3.2 인장시험후의 파단면 및 연성의 비교

Fig. 5에는 사포 1000번으로 마무리 가공한 후 확산접합한 경우의 인장시험후의 시험편의 외관을 나타낸 것이다. 이 경우에는 모든 시험편이 모재부 파단하였고

Fig. 5 Appearance of diffusion bonded 304 specimen after tensile tests.(polished to #1000)

Fig. 6 Appearance of diffusion bonded 304 specimen after tensile tests.(polished to #400)

전형적인 cup & cone형의 연성 파면을 나타내고 있다. 이 사실로부터 접합부가 모재의 강도 이상이며 이음 효율은 최소 100%가 될 수 있음을 의미하며 접합부의 신뢰성이 매우 높은 것이라고 결론 내릴 수 있다. 즉 접합하기 전의 면 거칠기를 미세하게 하면 매우 건전한 접합부가 얻어진다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 사포 400#으로 마무리한 후 확산접합한 경우의 인장시험후의 시험편의 외관을 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 파단면은 평탄하고 파단면, 즉 접합계면 상에서는 거의 소성변형되지 않은 채 파단에 이른 것이다. 이음 효율은 100% 정도로서 인장 강도는 높지만 접합부에서 파단되는 것이 문제점이 될 수 있다. 이 경우뿐 아니라 확산 브레이징한 경우에도 모두 접합계면에서 파단되는 경향을 나타내었다.

따라서 신뢰성 측면에서는 접합면의 거칠기가 매우 중요한 인자로 작용할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

이와 같이 접합면의 조도는 고상접합부의 거시적인 강도에는 큰 영향을 미치지 않지만 파괴 양상에는 뚜렷한 영향을 끼치는 것으로 판단되지만 가능한 한 거칠기를 적게 하기 위해 표면처리나 탈지 등이 요구된다고 하지만^{4,5)} 접합부의 면 거칠기에 대해서는 뚜렷한 기준이 없기 때문에 실용적인 측면에서 수행 가능한 한 방안으로는 접합면을 정삭하는 것이 유력한 수단으로 사료된다.

Table 2에 확산접합 조건에 따른 인장강도와 연신율 및 단면수축률을 비교해보면 표면조도에 따라 연신율 및 단면수축률에 큰 차이가 존재하며, 사포 1000번(Ra 5.2)의 경우에는 접합시간의 차이에도 관계없이 연신율은 85% 정도이고, 단면수축률은 70% 이상이었다. 이에 반하여 사포 400번 (Ra 16)의 경우에는 연신율이 67%에서 78.96% 범위에, 단면수축률은 31.23%에서 39.23%의 범위에 있다. 즉 표면조도에 따라 연신율과 단면수축률에는 현저한 차이가 존재함을 확인할 수 있었다.

3.3 접합계면부의 SEM 관찰

접합 강도와 파단 양상의 차이를 고찰하기 위하여 SEM으로 접합계면 및 조직 관찰을 수행하여 접합거동에 미

치는 가압력 및 표면조도의 인자를 명확히 하고자 하였다.

Fig. 7은 사포 1000번으로 마무리하여 확산접합한 경우의 계면 및 조직의 SEM 사진이다. 이 사진에서 알 수 있는 바와 같이 접합면이 거칠기를 미세하게 할수록 건전하고 양호한 접합부가 얻어지며 맞닿은 끼리가 완전히 접합되어 결정립이 일체화되어 있었다.

Fig. 8은 사포 400#으로 마무리하여 확산접합한 경우의 계면 사진이다. 이 사진의 중앙부가 접합부이며 맞닿은 선 모양의 미접합부가 존재하고 또 미소한 미소공동(microvoid)도 존재하는 것을 확인할 수 있다. 이 정도의 미세한 결함은 거시적인 강도에는 영향을 끼치지 않을 지라도 전술한 바와 같이 반드시 접합부에서 파단된다는 점을 간과해서는 아니될 것이고 신뢰성 향상을 위해서는 모재부 파단이 바람직하므로 접합부의 면 조도가 매우 중요한 것으로 사료된다.

Fig. 9 및 10에는 1050℃에서 30분 확산접합한 확산접합에 대하여 표면 거칠기가 다른 두 경우에 대하여 접합부를 가로질러 Cr,Fe 및 Ni의 분포 상황을 EDX로 조사한 것이다. 이 두 경우 모두 중앙부가 접합계면이며 표면 거칠기가 다른 두 경우의 원소 분포에는 큰 차이를 확인할 수 없고 두 경우 모두 접합은 양호한 것

Fig. 7 Diffusion bonded interface (polished to #1000)

Fig. 8 Diffusion bonded interface (polished to #400)

Fig. 9 Line profile of Cr,Fe and Ni for diffusion bonded joint(polished to #400,bonded at 1050℃, 30min.

Fig. 10 line profile of Cr,Fe and Ni for diffusion bonded joint(polished to #1000,bonded at 1050℃, 30min.)

Fig. 11 SEM microstructure of diffusion brazed joint (Pressure : 1 MPa, 1200℃, 10min.)

으로 판단된다. 이러한 결과에 따라 인장 강도에는 거의 차이가 존재하지 않는 것으로 판단된다.

Fig. 11은 Fe-4B-3Si계의 삽입재를 사용하여 1MPa의 가압력으로 1200℃에서 10분간 확산 브레이징한 경우의 접합계면의 SEM사진이다. 이 사진에서 알 수 있

Fig. 12 SEM microstructure of diffusion brazed joint after 90 hr homogenization heat treated

는 바와 같이 접합시의 가압력이 낮은 관계로 추정되는 요인에 의해 접합면이 충분히 밀착되지 않고 삽입재도 충분히 wetting 되지 않아 공동이 존재함을 알 수 있다. 이와 같은 문제 때문에 확산 브레이징할 때의 가압력이 낮으면 접합강도가 낮아지는 것으로 사료된다. 또한 접합 후에 균질화처리하여도 접합계면의 양상에는 거의 변화가 없었다.

Fig. 12는 1MPa의 가압력으로 90 시간 균질화 처리한 경우의 접합부의 사진으로 균질화에 따른 바람직한 효과보다는 접합부에 존재하는 미소 공동의 수가 많아지는 경향을 나타낸 것이다. 이와 같은 결과는 위에서 설명한 인장 시험 결과와 같이 고려해보면 확산브레이징한 후의 균질화 열처리 자체가 그다지 큰 의미를 가지지 못함을 알 수 있다.

E. Lugscheider, K.D. Partz와 R. Lison은 316 및 인코넬을 BNi계 삽입재로 브레이징하여 결정립계로의 분화물 석출 거동을 조사한 결과, 접합시간 10분인 경우에는 석출 깊이가 250마이크로미터인데 반해 접합시간 60분인 경우에는 400마이크로미터나 되어 강도에 악영향을 미친다는 연구 결과⁴⁾를 발표하고 있다. 이와 같은 연구 결과로부터 알 수 있는 바와 같이 균질화열처리 시간은 가능한 한 짧은 것이 유리할 것으로 사료된다.

Johnson은 페라이트계 스테인리스강을 BNi-2 및 BNI-4계의 삽입재를 사용하여 진공에서 브레이징한 후 접합부에서의 Si와 B의 확산 거동을 조사하여 Si는 150마이크로미터 확산하는 반면 B는 140마이크로미터나 확산한다는 연구 결과^{7,8)}를 발표하고 있다. 이는 B가 원자반경이 작아 매우 확산속도가 빠르기 때문에 본 연구에서의 확산브레이징에서도 B의 편석은 거의 고려 대상에 넣지 않고 정량 분석할 의미가 없는 관계로 확산 브레이징의 경우에는 원소 분포 상태에 대한 조사는

Fig. 13 SEM microstructure of diffusion brazed Joint (pressure : 3MPa, 1200℃, 10min.)

하지 않았다.

Fig. 13은 Fe-4B-3Si 삽입재를 사용하여 3MPa의 가압력으로 1200℃에서 10분간 확산 브레이징한 접합부의 사진으로 미소 공동이나 wetting이 불충분한 영역이 존재하지 않고 매우 건전한 접합부가 얻어지고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 양호한 접합계면이 얻어지기 때문에 1MPa의 가압력으로 접합한 경우에 비해 접합 강도가 2배 정도의 수준으로 높아지는 것으로 사료된다.

4. 결 론

오스테나이트계 스테인리스강인 AISI304를 실험재료로 하여 확산 접합과 확산 브레이징에 의한 접합 특성 및 접합부의 강도에 미치는 가압력, 표면 조도 및 접합시간 등의 인자에 대하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 확산접합에 의해 접합부의 인장강도는 모재와 거의 동등한 수준으로 이음 효율은 거의 100%이었다.

2) 표면조도는 확산접합부의 인장강도에는 그다지 영향을 끼치지 않지만 파단 양상에는 매우 뚜렷한 영향을 미쳤다. 표면조도가 거친 경우에는 접합부에서 파단되지만 표면조도가 미세하면 모재부 파단으로 cup & cone 형의 연성 파단 되었다.

3) 확산 브레이징할 경우에는 가압력이 매우 중요한 인자로서 가압력이 클수록 접합계면이 양호하고 접합부의 인장강도는 거의 500MPa 정도로 매우 양호한 접합부가 얻어진다.

4) 확산 브레이징후의 균질화처리시간이 길어질수록 접합부의 강도는 약간 증가하는 경향을 나타내지만 균질화처리시간이 60 분 이상이 되면 거의 포화 상태에 이른다.

감사의 말씀

본 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2016년)에 의해 연구되었음. 연구비의 지원에 감사드립니다.

ORCID: Ho-Shin Jeong: <http://orcid.org/0000-0003-4238-827X>
ORCID: Kook-Soo Bang: <http://orcid.org/0000-0002-9062-8824>

References

1. Ho-Shin Jeong, Yun Yong Lee, and Dong Soo Bae, The effect of alloying elements on weldability and corrosion resistance of austenitic stainless steels(I), *Journal of KWJS*, 30(3) (2012), 255-263
2. M.G.Fontana and N.D.Greene, Corrosion Engineering, 2nd ed., *McGraw-Hill*, 58-66
3. E.Lugscheider, T.Cosak, High-temperature brazing of stainless steel with low-phosphorus nickel - based filler metal, *Welding Journal*, 67(10) (1988), 215-s-221-s
4. N.F.Kazakov, Diffusion bonding of materials, Pergamon Press, (1985), 143-149
5. Welding handbook, American Welding Society, vol.2, 8th edition, (1991), 814-833
6. E.Lugscheider, K.D. Parz, R.Lison, Thermal and Metallurgical Influences on AISI316 and Inconel 625 by High Temperature Brazing with Nickel Base Filler Metals, *Welding Journal*, 61(10) (1982), 329-s-333-s
7. R. Johnson, Microstructural Aspects of Brazing a Ferritic Steel with Two Ni-S-B Braze Filler Metals, *Welding Journal*, 57(4) (1978), 93-s-102-s
8. Mel M.Schwartz, Brazing, *ASM International*, (1990), 99-111