

열처리조건에 의한 자동차용 EGR쿨러의 브레이징부 접합강도에 관한 연구

이 준* · 한창석

*호서대학교 로봇공학과
호서대학교 국방과학기술학과

A Study on the Strength of Brazed Joint for Automotive EGR Cooler by Heat Treatment Conditions

Joon Lee*†, Chang-Suk Han

*Dept. of Robotic Engineering, Hoseo University, 165, Sechul-Ri, Baebang-Myun, Asan-Si,
Chungnam 336-795, Korea

Dept. of Defence Science & Technology, Hoseo University, 165, Sechul-Ri, Baebang-Myun, Asan-Si,
Chungnam 336-795, Korea

Abstract Stainless steel EGR cooler of diesel engine is widely used to prevent the corrosion due to the content of sulfur in diesel fuel. The strength of brazed joint between stainless steel materials is very important. It is essential to observe the spreading ratio of the filler metals under the condition of deoxidation or vacuum during heating process. In this experiment, spreading ratio was tested to find the optimum brazing condition for stainless steel using brazing filler metals of FP-613, BNi-2 and BNi-5 on sus304 and sus410. Anti-corrosion tests were also performed on the above filler metals with solution of 5% H₂SO₄, 65% HNO₃ and 5% NH₄OH. Consequently FP-613 has good ability for anti-corrosion with 30% of chromium content compared with other filler metals. The optimum brazing conditions are occurred at 960°C for 90 min. and at 1090°C for 50 min. at the same degree of vacuum, 2~3 × 10⁻³ Torr.

(Received May 29, 2009; Revised June 4, 2009; Accepted June 10, 2009)

Key words: EGR(exhaust gas recirculation), brazing filler metals, spreading ratio

1. 서 론

브레이징(brazing)은 450°C 이상의 액상선 온도를 가진 용가재(paste)를 사용하여 모재의 고상선 온도 이하의 열을 가하여 두 모재를 접합시키는 일련의 용접 공정그룹으로 정의한다[1]. 브레이징 기술은 낮은 접합온도로 인해 모재의 열화 및 변형이 적고 잔류응력이 작으며 용접이 서로 다른 이종 금속의 접합도 가능하고 용접에 비해 미세조직의 손상을 줄일 수 있고 복잡한 구조물의 접합에도 적용하기 용이한 장점이 있다. 또한 크기 및 두께가 다른 제품의 접합이 용이함으로서 원가절감 및 다양한 부품설계가 가능하다. 철과 비철을 브레이징 할 때 접합부의 인장강도가 모재보다 강한 경우가 있으며 스테인

리스강은 브레이징 접합부가 약 200 MPa 이상의 인장강도를 가질 수 있게 설계가능하다.

스테인리스강을 브레이징 할 때 공기 중의 산소와 결합하여 산화물 등이 생기지 않도록 환원성 분위기를 또는 진공 분위기 중에서 가열함으로써 산화물 생성을 억제하여 용가재가 잘 퍼지게끔 해야 한다. 용가재가 브레이징 할 모재와 젖음성이 나쁘면 양호한 접합이 이루어지지 않으며, 접합간극이 크면 양 모재 사이에 용가재가 완전히 침투하지 않아 불완전 접합이 된다[2]. 특히 모세관현상은 브레이징 하고자 하는 가공품의 정밀도와 연관이 많이 있다.

본 연구에서는 국내에서 생산되는 자동차용 EGR 쿨러 등에 이용되고 있는 300 및 400계의 스테인리스강과 브레이징 되는 용가재인 페이스트(paste)의

†E-mail : leejoon@hoseo.edu

Table 1. Chemical contents and fusing points of various pastes

Filler metal	JIS	ASTM	Hardness (Hv)	Yield strength (kgf/mm ²)	Thermal coefficient × 10 ⁻⁶ /°C
FP-601	BNi-1	BNi-1	750	63	14.0
FP-602	BNi-2	BNi-2	650	100	13.7
FP-603	BNi-3	BNi-3	670	178	14.6
FP-604	BNi-4	BNi-4	310	122	14.6
FP-605	BNi-5	BNi-5	530	117	14.5
FP-606	BNi-6	BNi-6	510	50	14.6
FP-613			470	100	14.6

Table 2. Chemical contents and fusing points of various pastes

Filler metal	Chemical contents (wt%)					Fusing points (°C)	
	Ni	Cr	Si	Fe	P	Solidus	Liquidus
FP-613	bal	29	4	-	6	980	1030
BNi-2	bal	7	4.5	3	-	970	1010
BNi-5	bal	19	10	-	-	1080	1140

spreading ratio = S/S*

S: 브레이징 후 용가재의 퍼진 면적

S*: 브레이징 전 용가재의 퍼진 면적

종류별 브레이징 온도에 따른 화학적 성분, 용점, 내식성 및 접합강도 등을 비교 분석 시험한 결과에 대하여 보고하겠다.

2. 실험방법

2.1 모재 및 용가재

브레이징의 용가제로 사용되는 페이스트(paste)는 국제규격으로 구분하면 BNi-1, BNi-2, BNi-3, BNi-4, BNi-5, BNi-6의 6등급으로 분류되고 있으며, 이들은 상품명으로는 FP-601부터 FP-606 그리고 FP-613 등으로 불리고 있다. 이들 중 주요 3가지를 정도, 항복강도 및 열팽창계수 등으로 구분해서 정리하면 Table 1과 같다. 본 실험에서 사용한 모재인 스테인리스강은 SUS 304, SUS 316, SUS 410 및 SUS 444 이고 용가재는 JIS규격으로 구분된 BNi-2 (FP-602), BNi-3(FP-603), BNi-5(FP-605) 및 FP613 이며, 이들의 화학적 성분 및 용융점은 Table 2와 같다.

2.2 퍼짐성 시험

브레이징 용가재 별로 스테인리스강에 대한 친화력

Table 3. Condition of brazing

Filler metal	BNi-2, BNi-5, FP-613
Degree of Vac.	Vacuum (5×10^{-3} torr)
Temperature	1080°C
Time	1.8 ks

척도인 퍼짐성(spreading ratio)을 평가하였다. Table 3와 같이 진공로에서 진공도, 5×10^{-3} torr조건으로 1.8 ks의 동일한 브레이징 시간동안 브레이징 온도 1080°C에서 스테인리스강 재질 종류별로 아래 식을 이용하여 퍼짐성을 측정하였다.

2.3 내부식성 및 접합강도 시험

용가재의 산에 대한 내부식성 검토를 위하여 시편을 제작하여 5% H₂SO₄, 65% HNO₃ 및 5% NH₄OH 용액에 FP-613, BNi-2 및 BNi-5 용가재를 각각 넣어 24시간 실험하였다. 또한 인장강도시험기를 이용하여 브레이징 후 접합인장 시험도 수행하였다.

2.4 브레이징 온도 최적화 시험

브레이징 부분의 모든 가스를 제거하고 또한 산화

Table 4. Condition of brazing optimization

Condition 1			Condition 2		
Temp.	Time	Vacuum	Temp.	Time	Vacuum
500°C	50 min	3~6×E-3 Torr	500°C	50 min	2~3×E-3 Torr
950°C	60 min	3~6×E-3 Torr	960°C	90 min	2~3×E-3 Torr
1080°C	40 min	3~6×E-3 Torr	1090°C	50 min	2~3×E-3 Torr

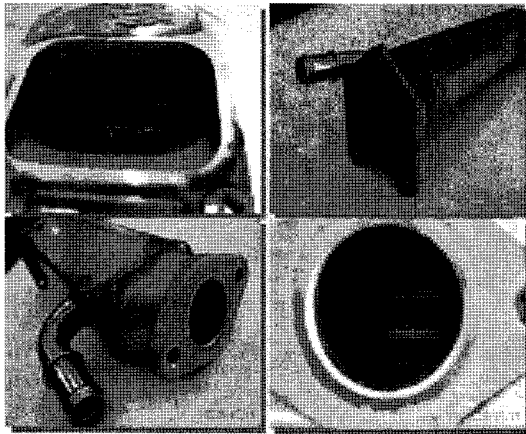


Fig. 1. EGR cooler for passenger car.

를 일으키지 않는 진공(vacuum) 브레이징 방법을 적용하였다. 진공브레이징은 로(furnace) 내에서 제품 전체가 균일하게 가열되고 정밀한 온도제어가 가능하여 균일한 브레이징 접합이 된다.

자동차부품과 같은 대량생산에 적합하며 실제로 스테인리스강의 브레이징에 아주 유효하다.

본 연구에서는 Fig. 1의 자동차용 NO_x 저감장치인 EGR 콜러에 대하여 2가지 조건의 브레이징 온

Table 5. Measured results of spreading ratio

Paste	SUS304	SUS316	SUS410	SUS444
FP-613	23	17	15	10
BNi-2	5	4	3	5
BNi-3	4	4	4	4
BNi-5	7	6	8	8

도와 진공도를 채택하여 실험을 수행하였다.

Table 4는 브레이징 조건을 보여준다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 용가재의 퍼짐성

Table 5에서 보듯이 BNi-2, BNi-3 및 BNi-5의 경우는 모재인 SUS 재질에 따라 spreading ratio가 3~8정도로 작으나, FP-613의 경우는 SUS 재질에 따라 13~25로 우수한 특성을 보이고 있다. 소량의 Si의 첨가는 퍼짐성을 증가시킬 수 있고 다량 첨가는 오히려 퍼짐성이 감소하는 것이 보고되어 있다 [3]. 또 Fig. 2는 1080°C에서 FP-613이 가장 우수한 퍼짐성을 나타내고 있다. 이는 P를 함유하고 있어서 유동성이 우수하기 때문이다.

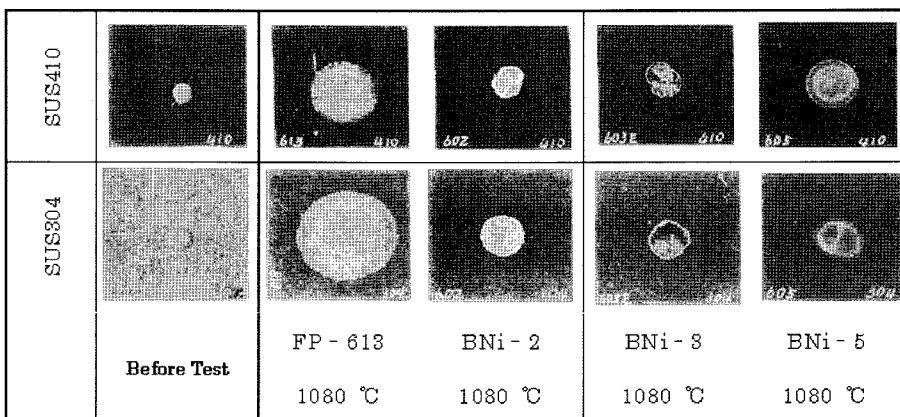


Fig. 2. Photos of spreading ratio by filler metals vs temperature.

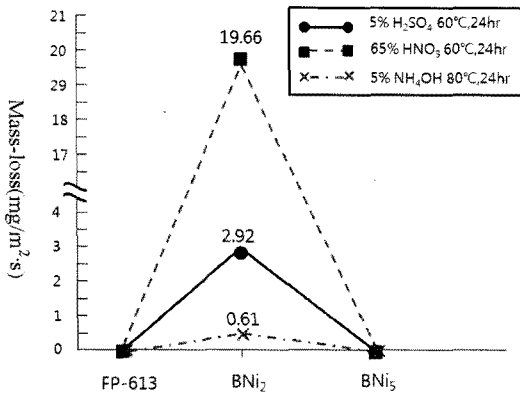


Fig. 3. Corrosion test results by H₂SO₄, HNO₃ and NH₄OH.

3.2 내부식성

Fig. 3은 5% H₂SO₄, 65% HNO₃ 및 5% NH₄OH 용액에 FP-613, BNi-2, BNi-5 용가재를 각각 넣어 24시간 동안 부식 실험한 결과를 나타내고 있다.

FP-613은 BNi-2, BNi-5와 비교해 볼 때 H₂SO₄와 HNO₃ 용액에서 부식된 금속성분이 전혀 발생하지 않았고 NH₄OH 용액에서 0.004 mg/m²s의 극소량만 석출되었다. 따라서 FP-613이 산에 대해 뛰어난 내부식성이 있음을 알 수 있었다. 이는 FP-613이 Cr을 약 30% 함유하고 있기 때문이다.

3.3 접합강도

Fig. 4는 sus304의 모재사이에 FP-613, BNi-2 및 BNi-5 용가재를 사용하여 100 μm의 브레이징 접합부를 만든 인장시험편이다. 25°C의 상온에서 인장시험기로 접합강도 시험을 하여 Fig. 5의 결과를 얻었다. FP-613은 인장강도가 200 MPa 이상으로 BNi-2와 유사하며, BNi-5 보다 훨씬 우수함을 나타내고 있다.

Fig. 6은 sus304의 모재사이에 FP-613, BNi-2 및 BNi-5 용가재를 사용하여 70~100 μm의 브레이징 접합부를 만든 인장시험편이다[4]. 25°C, 600°C 및 900°C의 3가지 온도조건에서[5] 접합강도 시험을 하여 Fig. 7의 결과를 얻었다. 25°C의 상온에서의 접합강도는 Fig. 5의 시험결과와 거의 동등하나 온도가 증가할수록 선형적으로 저하되고 600°C와 900°C에서의 고온이 되면 접합강도는 약 100 MPa로 거의

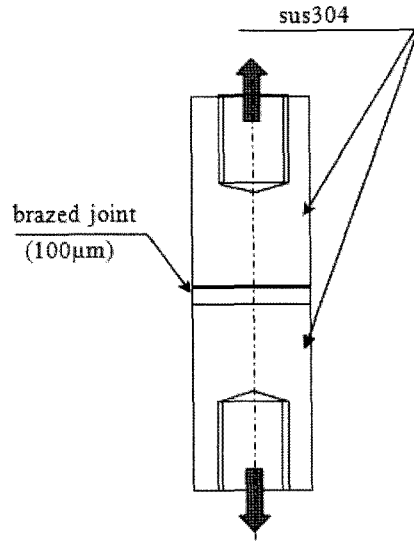


Fig. 4. Specimen for tensile strength test at 25°C.

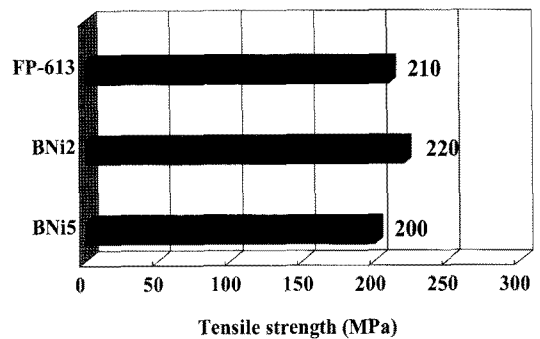


Fig. 5. Tensile strength of brazed joints.

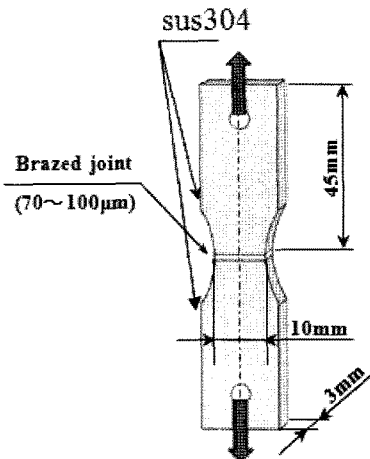


Fig. 6. Specimen for tensile strength test at 25°C, 600°C and 900°C.

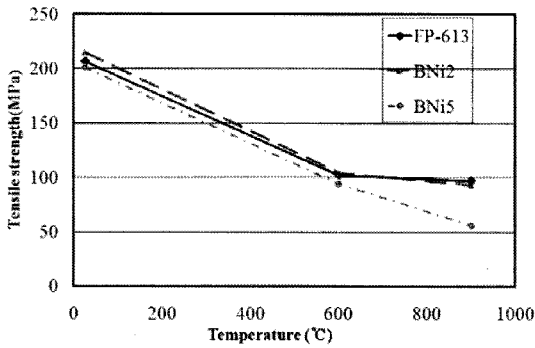


Fig. 7. Tensile strength of brazed joints.

일정하다. 단, BNi-5는 900°C에서 55 MPa로 급격히 저하된다. 이에 대한 근거를 Fig. 8의 금속조직 사진에서 살펴보자.

BNi-5는 Cr을 많이 함유한 합금이지만 금속조직은 Ni고용체(사진에서 Ni로 표시)와 Ni규화물의 복합상으로 구성되어 있다. Cr은 모두 Ni고용체의 금속상에 과포화로 고용되어 있기 때문에 고온이 되면 Ni고용체로부터 Cr이 석출되어 취성이 증가한다. 따라서 온도상승에 따라 강도가 저하된다고 사료된다. 한편, FP-613과 BNi-2도 Cr을 함유하고 있지만 BNi-2의 Cr 함유량은 상대적으로 적고 FP-613은 일부 Cr 화합물상을 형성하고 있으므로 Ni고용체에 고용하는 Cr량은 BNi-5 보다 적다. 따라서 FP-613과 BNi-2는 600°C 전후에서 Cr 석출이 종료되어 더 이상 온도가 상승해도 Cr 석출이 일어나지 않으므로 강도가 저하되지 않는다.

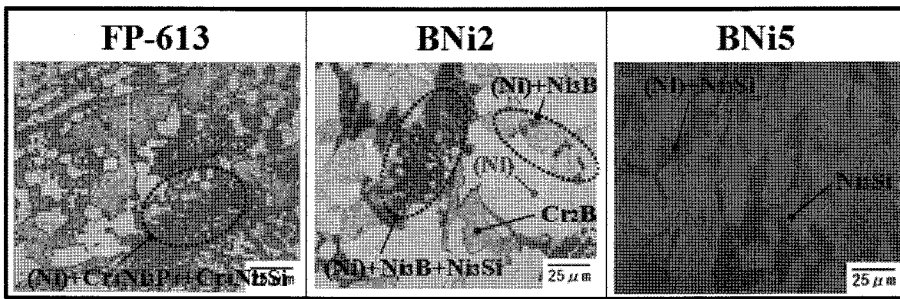


Fig. 8. Optical micrographs of the brazed joint specimens.

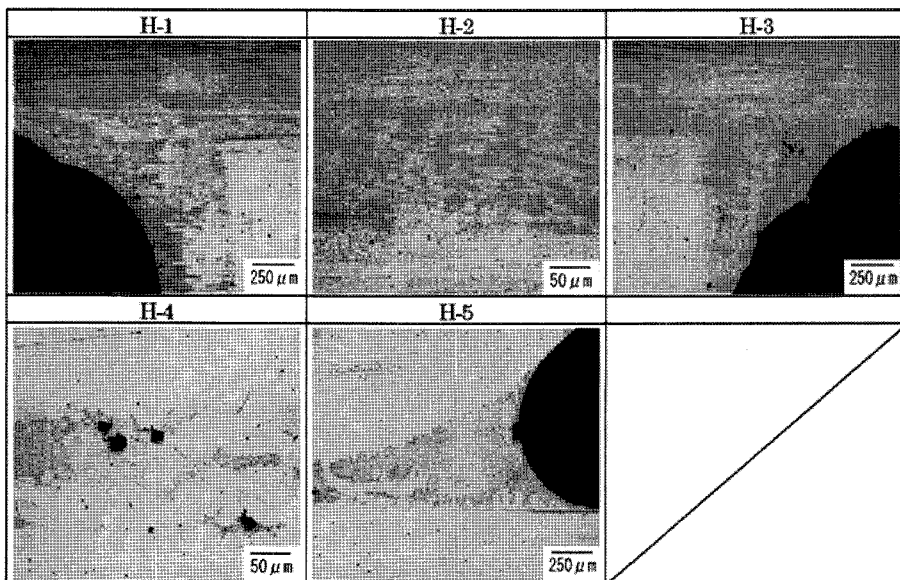


Fig. 9. Analysis results of optical micrographs of the brazed joint specimens by condition 1.

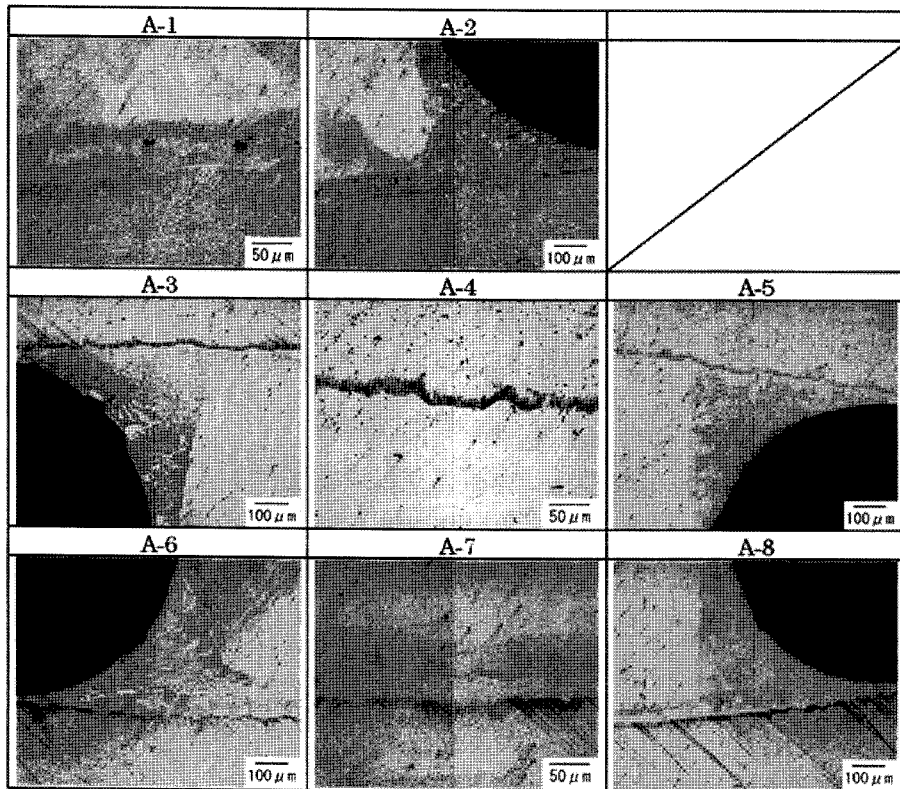


Fig. 10. Analysis results of optical micrographs of the brazed joint specimens by condition 2.

3.4 브레이징 최적화 온도

Table 4의 브레이징 열처리 최적화 조건 1과 조건 2의 금속조직 분석결과와의 시료 사진은 각각 Fig. 9와 Fig. 10이다. 사진촬영 위치는 Fig. 1의 EGR쿨러의 가스튜브와 하우징 사이의 브레이징 조인트부이다. 이 곳은 고온의 배기가스가 지나가고 또 엔진 coolant에 의한 냉각으로 열팽창과 수축이 반복되는 열응력에 가장 취약한 부분이다.

Fig. 9의 사진 H1~H5는 시편의 위치에 따른 각각의 브레이징 금속조직상을 나타내고 있다. H-3 사진의 타원 내 fillet 표면에 산화의 영향으로 사료되는 결함이 있고 H-4의 브레이징 층 안에 각각의 공극(porosity)이 보이므로 브레이징 온도를 높이든지 진공도를 더 높일 필요성이 있다.

따라서 중간 및 최종온도를 10°C 높이고 진공도를 약 40% 이상 높이며 열처리 시간을 연장시킨 조건 2를 적용하였다.

변경된 조건으로 시제품을 다시 제작하여 금속조직

을 분석한 결과 Fig. 10과 같이 사진 A1~A8 모두 건전한 금속조직만 보이며 산화 또는 공극발생이 전혀 없고 브레이징 상태는 양호하다고 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 현재 자동차용 엔진의 EGR쿨러의 스테인리스강 브레이징에 사용되는 열처리 온도와 진공도 조건 및 적합한 용가재의 특성평가를 하였으며 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 용가재 FP-613은 Cr을 약 30% 함유하고 있으므로 기타 용가재에 비하여 내식성이 양호하다. 600°C 전후에서 Cr 석출이 종료되어 더 이상 온도가 상승해도 Cr 석출이 일어나지 않으므로 강도가 저하되지 않는다. 또한 P를 함유하고 있어 젖음성이 양호하여 양호한 브레이징 접합면을 얻을 수 있었다.

2. 브레이징 열처리 조건은 중간과정에서 960°C 온도로 90분간 진공도 $2\sim 3 \times 10^{-3}$ Torr, 최종과정에

서 1090°C 온도로 50분간 진공도 $2\sim 3\times 10^{-3}$ Torr
에서 최적화 되었다.

참고문헌

1. AWS : Brazing manual, 3rd edition (1976) AWS, p. 1.
2. G. M. Z. Blanc and C. G. Keel : Brazing filler metal and alloy, *Welding J.*, **40** (1961) 138.
3. T. A. Siewert, R. W. Heine, and M. G. Lagally : Brazing alloy spreading on steel, *Welding J.*, **57** (1978) 134.
4. J. Colbus C. G. Keel and G. M. Blanc : Note on the strength of braze joint, *Welding J.*, **41** (1962) 413.
5. I. Kawakatsu and T. Osawa : Furnace brazing of steel with filler metal, *Welding J.*, **5** (1977) 56.