한국해양공학회지 제17권 제5호, pp 76~81, 2003 (ISSN 1225-0767)

삽입금속을 사용한 구상흑연주철과 2024 알루미늄합금의 마찰압접에 관한 연구

김창규* · 김치옥** · 김광일*
*부경대학교 재료공학부
**부경대학교 기계공학부

Friction Welding of Spheroidal Graphite Cast Iron and 2024 Aluminium Alloys using Insert Metal

CHANG-GYU KIM*, CHI-OK KIM**, AND KWANG-ILL KIM*
*Division of Materials Science and Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea
**School of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

KEY WORDS: Insert Metal 삽입금속, Spheroidal Graphite Cast Iron 구상흑연주철, 2024 Aluminium Alloy 2024 알루미늄합금, Friction Welding 마찰압접

ABSTRACT: *Friction welding of GCD45 spheroidal graphite cast iron and 2024 aluminum alloy has been studied, especially in terms of the joint faces and strength of friction welding. For appropriate results of the friction welding of GCD45 graphite cast iron and 2024 aluminum alloy, an insert of A1050 pure aluminum metal was used. The joint strength of the A1050 pure aluminum insert approached the maximum strength of 165.7Mpa, compared to 128MPa for the joint between GCD45 graphite cast iron and A1050 pure aluminum without the insert metal. Maximum strength, 165.7Mpa, was possible for the following optimum conditions: 20MPa for the friction pressure, P1, 60MPa for the upsetting pressure, P2, 1 second for the friction time, t1, 3000rpm for the rotation, N, and 0.3 seconds for the brake time, tB.*

1. 서 론

구상흑연주철은 많은 기계적 성질을 가지고 있으므로 구조용 재료로써 공업적으로 많이 사용되고 있다. 그리하여 최근에 구상흑연주철과 이종재료와의 복합화 된 재료가 자동차 산업, 해양구조물 분야 및 산업기계 분야 등 넓은 분야에서 요구되고 있으며 많은 연구가 시도되고 있지만 주철은 난 용접재료로 알려지고 있다(Horie et al., 1991; Kamota et al., 1992).

이것은 주철을 용융상태로부터 급냉하면 준 안정계 공정으로부터 탄소(C)가 용접금속부나 접합부에 시멘타이트 (cemen-tite)로 정출하기 쉽기 때문이다. 그래서 고상접합법인 마찰압접법을 취하게 되어 주철을 마찰접합에 적용하는 적응성이 검토되어 왔다.(Aritoshi et al., 1996; Huang et al., 2002) 마찰접합은 이음매 강도 및 작업효율이 좋으므로 기계금속공업분야를 중심으로 넓게 보급되어 있으며 단시간의 접합이 가능하므로 이종 재료와의 접합에 관해서도 상당히 실용화되고 있다.

제1저자 김창규 연락처: 부산광역시 남구 용당동 산100
051-620-1472 metgyu@pknu.ac.kr

그러나 마찰 압접을 적용하여도 중간층의 생성이 나타나고 있다(오세규 등, 1997; Shinoda et al., 1996).

마찰압접의 접합기구는 아직 충분하게는 알려지지 않아서 이들 화합물이 고상 상태에서 생성되는 것인지 또는 용융에 의하여 생성되는 지는 확인되지 않은 상태이다.

탄소강이나 스테인리스강과 공업용 순 알루미늄재는 마찰압접법을 이용하면 극히 얇은 반응층을 개재로 하여 쉽게 접합할 수 있으므로 종래로부터 트렌지션 피스나 인쇄기의 가이드롤 등에 이용되어 왔다. 그리하여 순 알루미늄보다 고강도재인 알루미늄합금으로 대체하여 타 부품에의 적용의 확대가 고려되기 시작하여 이러한 종류의 이종재 이음매의 요구가 높아져 왔다(Morozumi et al., 1989).

그러나 종래의 직접접합에는 마그네슘(Mg)이나 동(Cu)등의 첨가원소가 접합을 저해하여 만족한 강도를 유지하는 이음매를 만들기가 어려웠다. 그리하여 작금 실용 면에는 삽입재(insert metal)를 사용하여 마찰압접하는 방법이 연구되고 있다.

본 연구에서는 이방법의 유용성에 관하여 검토하기 위해서 가장 접합이 까다로운 2024 알루미늄합금과 구상흑연주철의 마찰 접합에 이종재(공업용 순 알루미늄)를 삽입재로 하여 마찰압접 시험을 하여 삽입재의 두께나 압접조건 등과 삽입재의 계면에서의 거동이나 기계적 성질 등에 관하여 검토하였다.

2. 실험방법

2.1 시편제작

본 실험에 사용한 모재 및 삽입재의 화학조성을 Table 1, 기계적 성질은 Table 2에 각각 나타내었다. 구상흑연 주철재는 KS GCD 45상당의 페라이트 계의 연속주조봉(30mmø)을 15mmø×70mm로 선반가공하였으며 알루미늄합금(2024)봉은 압출재로 15mmø×100mm로 가공한 시료이며 삽입재로는 공업용 순 알루미늄(A1050)봉을 각각 사용하였으며 접합면은 800번의 연마포로 연마한 후 초음파로 탈지 및 세척을 하여 사용하였다. 시험편의 치수는 Fig. 1과 같다.

Table 1 Chemical compositions of base materials (mass %)

Material	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mg	Cr	Zn	Ti	Al	Fe
GCD45	3.5	2.9	0.4	0.08	0.02		0.05					Bal
A1050	0.0	0.1	0.0	-	-	0.0	-	-	-	0.01	Bal	0.2
A2024	0.0	0.5	0.31	-	-	4.0	1.3	0.03	0.25	0.03	Bal	0.5

Table 2 Mechanical properties of base materials

Material	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
A2024	120	185	22
A1050	107.8	108.8	25.3
GCD45	280<	450<	13<

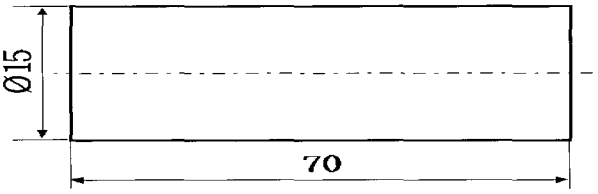


Fig. 1 Shape and dimensions of base material (mm)

2.2 실험조건 및 방법

구상흑연주철봉과 순 알루미늄봉을 여러 조건에서 압접시험을 하여 모재파단이 일어나는 압접조건(Table 3) 즉 마찰압력 30MPa, 업셋트압력 80MPa, 마찰시간 0.5Sec, 회전수 2000rpm, 브레이크시간 0.3sec로 마찰압접실험을 행한 후 압접된 순 알루미늄봉 부분을 2mm, 5mm, 8mm두께로 각각 기계 가공하여 삽입재로 성형한 후 이것과 알루미늄합금(A2024계)과를 압접하여 삽입재의 두께의 변화에 따른 조직과 기계적 성질관계를 조사하였다. 압접된 시험편은 바리(flash)를 제거한 후 접합면을 중심으로 한 인장시험편, 조직시험편을 각각 얻었다.

접합면의 금속조직관찰은 구상흑연주철 측은 나이탈액으로 알루미늄합금 측은 게라액으로 부식한 시편을 광학현미경 및 주사전자현미경으로 관찰하였고 또 EPMA로 접합부의 미세구조를 조사하였으며 EPMA측정에는 부식에 의한 금속간화합물의 용실을 방지하기 위하여 연마한 그대로의 시편을 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 구상흑연 주철봉과 공업용 순 알루미늄봉과의 마찰압접

구상흑연 주철과 순 알루미늄은 비교적 마찰압접이 용이하므로 삽입재로 순 알루미늄을 선정하게 되었으며 Table 3과 같이 여러 조건에서 마찰압접시험을 행하였다(Ogata et al.,1998).

Table 3 Friction Welding Condition and result of tensile (GCD45 and A1050)

Sample No.	Prefriction pressure P_0(MPa)	Friction pressure P(MPa)	Upsetting pressure P_2(MPa)	Prefriction time t_0(sec)	Friction time t_1(sec)	Upsetting time t_2(sec)	rpm (N)	Tensile strength (MPa)	S (mm)
1	10	15	80	1	0.5	6	2000	81.68	14.9
2	10	15	40	1	1	3	2000	98.1	6.3
3	10	15	80	1	1	6	2000	102.0	25.0
4	10	30	80	1	0.5	3	2000	127.8	20.9
5	10	30	80	1	1	3	2000	81.3	22.8
6	10	15	40	1	0.5	3	3000	96.4	5.5
7	10	15	40	1	1	3	3000	117.6	12.2
8	10	30	40	1	0.5	6	3000	123.2	14.3

시험편 2, 3, 6의 경우와 같이 낮은 인장강도 값의 계면파단이 일어나는 경우도 있으나 시험편 4, 7, 8 등과 같이 비교적 높은 강도의 모재파단이 일어났으며 시험편 4의 경우는 인장강도 값이 약 128MPa로 가장 높았다. 따라서 삽입재를 얻기 위한 조건으로 시험편 4의 조건과 같이 마찰압력 30MPa, 업셋트 압력 80MPa, 마찰시간 0.5초, 회전수 2000rpm, 브레이크 시간 0.3초로 정하여 실험을 행하였으며 그 결과는 photo 1~3에서와 같다.

photo 1에 구상흑연주철재와 공업용 순 알루미늄재의 접합계면의 현미경 사진을 나타내었다. 왼쪽 흰 부분이 알루미늄 측이고 오른쪽 검은 부분이 구상흑연주철 쪽이며 알루미늄 측에 흑연(C)이, 구상흑연주철 쪽에는 알루미늄이 확산된 것을 알 수 있다.

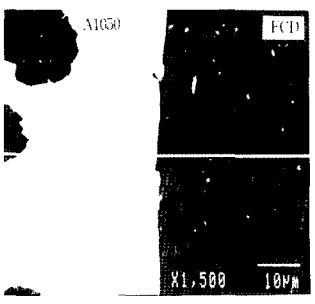
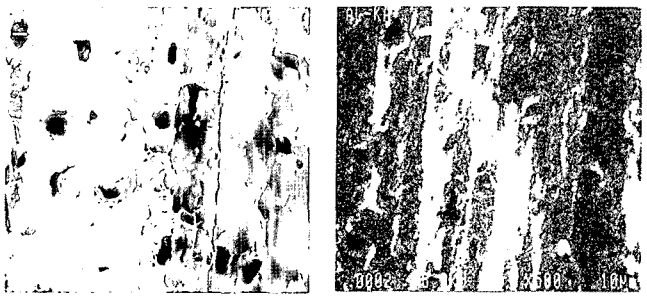


Photo 1 Microstructure of interfaces welded with direct welding

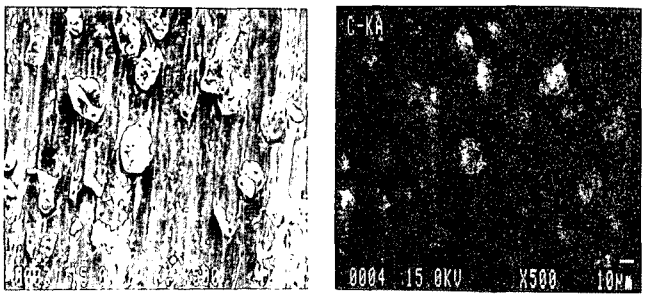
photo 2의 (A)에 구상흑연주철쪽의 인장파면을 SEM으로 나타내었으며 (B)는 EDS에 의한 알루미늄의 면 분석 결과이다. 중심 부분에 알루미늄이 확산되어 고루 분포하고 있음을 알 수 있다.



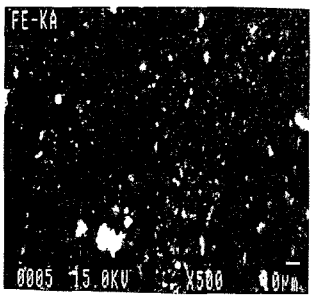
(A) (B)

Photo 2 (A) SEM image of tensile fractured surface of welded joint (GCD 45 side), (B) EDS Al analysis on phase in (A)

photo 3의 (A)는 알루미늄 쪽의 인장파면이며 (B)는 알루미늄 시료면의 탄소의 면 분석 사진이고 (C)는 철의 면 분석 사진이다.



(A) (B)



(C)

Photo 3 (A) SEM image of tensile fractured surface of welded joint (A 1050 side), (B) EDS carbon analysis on phase in (A), (C) EDS Fe analysis on phase in (A)

사진에서와 같이 구상흑연 주철계면에는 알루미늄이, 알루미늄계면에는 흑연과 철이 고루 확산되어 계면접합이 이루어졌음을 알 수 있었다.

3.2 삽입재를 사용한 구상흑연 주철재와 2024 알루미늄 합금재 와의 마찰압접

삽입재의 두께에 관한 접합강도를 비교 검토하기 위하여 순 알루미늄 봉 부분을 각각 2mm, 5mm, 8mm 두께로 절단 가공한 시험편을 제작하여 2024 알루미늄 합금 봉과 마찰압접시험을 table 4~table 6 에서와 같은 조건에서 행하였다.

Table 4 Friction Welding Condition and Result of Tensile (GCD45 and A2024)

Semple No.	Prefriction pressure P_0(MPa)	Friction pressure P_1(MPa)	Upsetting pressure P_2(MPa)	Prefriction time t_0(sec)	Friction time t_1(sec)	Upsetting time t_2(sec)	rpm (N)	Tensile strength (MPa)	S (mm)	Thickness of insert metal (mm)
1	10	20	60	1	1	6	3000	124.5	2.5	2
2	10	20	60	1	2	5	3000	102.4	2.9	2
3	10	20	60	1	3	4	3000	92.7	3.1	2
4	10	20	60	1	1	6	3000	112.5	3.0	2
5	10	30	60	1	1	6	3000	98.4	3.4	2

Table 5 Friction Welding Condition and Result of Tensile (GCD45 and A2024)

Semple No.	Prefriction pressure P_0(MPa)	Friction pressure P_1(MPa)	Upsetting pressure P_2(MPa)	Prefriction time t_0(sec)	Friction time t_1(sec)	Upsetting time t_2(sec)	rpm (N)	Tensile strength (MPa)	S (mm)	Thickness of insert metal (mm)
1	10	20	60	1	1	6	3000	133.6	4.4	5
2	10	20	60	1	2	6	3000	103.8	4.8	5
3	10	20	60	1	1	6	3000	165.7	4.5	5
4	10	30	60	1	2	6	3000	118.0	5.1	5
5	10	40	60	1	2	6	3000	95.2	4.3	5
6	10	20	60	1	1	6	3000	142.2	4.9	5

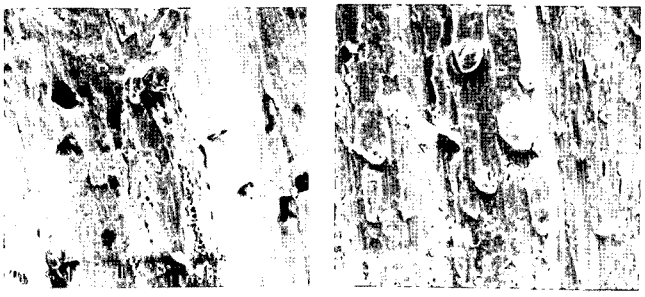
Table 6 Friction Welding Condition and Result of Tensile (GCD45 and A2024)

Semple No.	Prefriction pressure P_0(MPa)	Friction pressure P_1(MPa)	Upsetting pressure P_2(MPa)	Prefriction time t_0(sec)	Friction time t_1(sec)	Upsetting time t_2(sec)	rpm (N)	Tensile strength (MPa)	S (mm)	Thickness of insert metal (mm)
1	10	20	60	1	2	5	3000	98.4	5.2	8
2	10	20	60	1	1	6	3000	121.2	6.2	8
3	10	20	60	1	1	6	3000	132.4	5.5	8
4	10	20	60	1	1	5	3000	111.5	6.5	8
5	10	20	60	1	2	6	3000	108.3	5.1	8

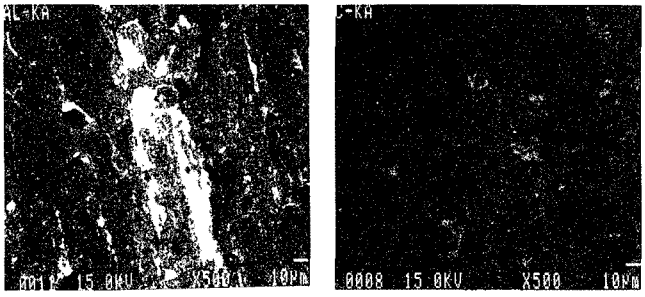
이 실험결과 photo 4는 순 알루미늄을 insert 재료두께 2mm로 하여 A2024합금과 마찰접합 시켰을 때의 인장파면이며 (A)는 GCD45측에 알루미늄이 확산 분포되어 있으며 딤플(dimple)한 파면을 보이고 있고 (B)는 A2024 합금면에 흑연이 확산되어 있으며 역시 딤플한 파면을 보이고 있다.

(A) (B)

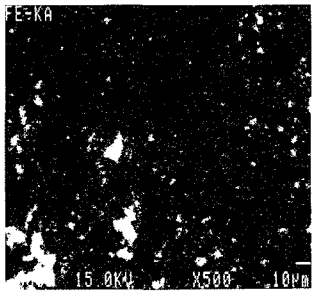
Photo 4 SEM image of tensile fractured surface of welded joint (Thickness of insert metal : 2mm), (A) GCD 45 side, (B) A2024 side



(A) (C)

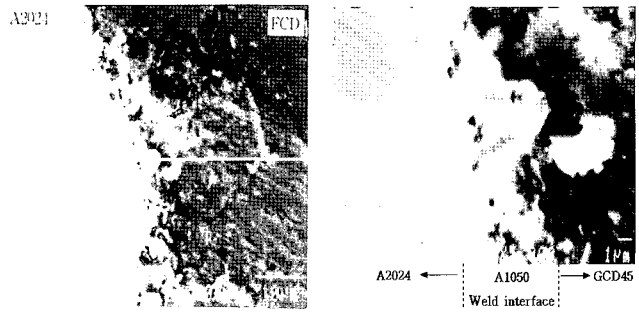


(B) (D)



(E)

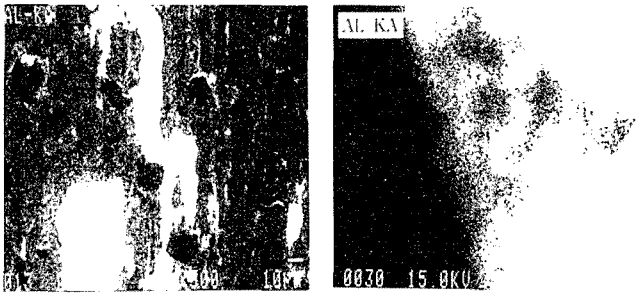
Photo 5 SEM image of tensile fractured surface of welded joint (Thickness of insert metal : 8㎜)
(A) GCD 45 side
(B) EDS Al analysis on phase in (A)
(C) A2024 side
(D) EDS carbon analysis on phase in (C)
(E) EDS Fe analysis on phase in (C)



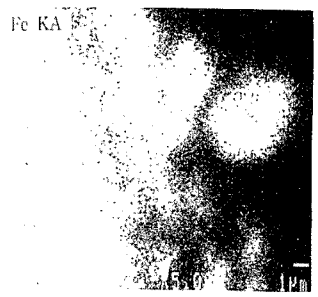
(A) (B)

Photo 6 SEM image of weld interface (thickness of insert metal : 5㎜)

(A) (C)



(B) (D)



(E)

Photo 7 SEM image of tensile fractured surface of welded joint (Thickness of insert metal : 5㎜)
(A) FCD 45 side
(B) EDS Al analysis on phase in (A)
(C) A2024 side
(D) EDS Al analysis on phase in (C)
(E) EDS Fe analysis on phase in (C)

photo 5는 순 알루미늄을 삽입 재료두께 8mm로 하여 A2024합금과 마찰접합을 시켰을 때 인장파면으로 (A)는 구상흑연주철이고 (B)는 이면을 EDS로 Al면 분석을 한 것으로 Al이 고루 분포하고 있음을 알 수 있다. (C)는 A2024쪽의 인장파면이며 (D)는 이면을 EDS로 카본 (C)를 면 분석, (E)는 Fe를 면 분석한 것으로 카본과 Fe이 고루 분포하여 접합되었음을 알 수 있다(송오성과 강춘식, 1990).

photo 6은 순 알루미늄을 삽입재료 두께 5mm로 하여 A2024합금과 마찰압접시켰을 때의 접합계면의 SEM사진으로 접합계면층을 형성하였으며 알루미늄이 구상흑연주철 쪽으로 많이 확산된 것을 볼 수 있다.

photo 7 (A)는 위 시료의 구상흑연주철의 인장파면이, (B)는 이면에 EDS로 Al을 면분석한 것과, 중심부에 알루미늄이 고루 분포하고 있음을 나타내었고 (C)는 A2024쪽의 파면을 EDS로 알루미늄을 면 분석, (E)는 Fe을 면 분석 한 것이며 알루미늄과 철이 고루 확산 분포되고 있음을 나타내었다.

Fig. 2는 삽입메탈의 두께(mm)와 인장강도(MPa), flash길이(mm)와의 관계를 나타내었다. 삽입메탈의 두께가 약 5mm까지는 연질인 삽입메탈 (A1050) 두께분 만큼 upset량으로서 외부에 압출되어버린 것으로 보이고 약 5mm이상의 두께에서는 삽입메탈은 완전히 압출되지 않고 계면에 많이 존재하는 것으로 여겨진다. 접합강도는 삽입메탈의 두께가 약 5mm의 경우가 가장 높았고 이때의 flash 길이도 약 4.5mm 내지 5mm정도였다.

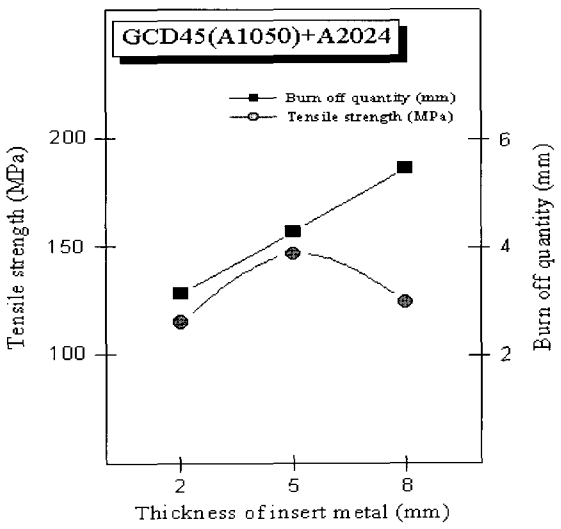


Fig. 2 Changes of tensile strength and burn off quantitythickness of insert metal

이상의 실험 결과 A1050 삽입재를 두께 5mm로 하여 마찰압력(P1) 20MPa, 업셋트 압력(P2) 60MPa, 마찰시간(sec)1, 회전수 3000rpm의 조건에서 가장 높은 접합강도를 얻을 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 순 알루미늄(A1050)을 삽입메탈로 하여 구상흑연주철봉과 2024알루미늄합금봉을 마찰압접하고 압접면의 양상 및 이음매강도와의 관계를 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 적당한 압접 조건을 선택하면 구상흑연주철과 2024알루미늄합금에 순 알루미늄을 삽입메탈로 하여 접합할 수가 있었다.

2) 최대접합강도는 마찰압력(P_1)=20MPa, upset 압력(P_2) = 60 MPa, 마찰시간(t_1)=1s, 회전수(N)=3000rpm, 브레이크시간(t_B)= 0.3s의 조건에서 얻었고 그 값은 165.7MPa이다.

3) 같은 압력조건 하에서 삽입메탈(A1050)의 길이를 5mm로 하여 구상흑연주철(GCD45)쪽에 먼저 접합시킨 경우가 가장 높은 접합강도를 나타내었다.

참 고 문 헌

송오성, 강춘식 (1990). "2024 알루미늄의 마찰용접에 관한 연구" 대한용접학회지, 제8권, 제3호, pp 24-30.

오세규, 박일동 (1997). "신소재 금형펀치의 이종재 마찰용접 개발과 AE품질평가를 위한 연구" 대한용접학회지, 제15권, 제2호, pp 43-53.

Aritoshi, M., Okita, K., Ikeuchi, K. and Ushio, M. (1996). "Friction Welding of Pure Tungsten to Oxygen Free Copper with Intermediate Layer", Quarterly Journal of the Japan Welding Society, Vol 14, No 3, pp 495-501.

Horie, H., Hiratsuka, S., Kowata, T., Kurita, K. and Nakamura, M. (1991). "Diffusion Bonding of Spheroidal Graphite Cast Iron to Austenitic Stainless Steel", Journal of Japan Foundry Engineering Society, Vol 63, No 5, pp 449-450.

Huang, W.Z., Horie, H., Hiratsuka, S., Kowata, T., Shi, X.L. and Koike, K. (2002). "Effect of Bevel Angles on Friction Welding Structure of Spheroidal Graphite Cast Iron to Mild Steel", Quarterly Journal of the Japan Welding Society, Vol 74, No 6, pp 363-369.

Kamota, S., Noguchi, T., Sato, T. and Sakai, M.(1992). "Cast in Insert of Spheroidal Graphite Cast Iron and Mild Steel Bar Using Thermal Spraying", Journal of Japan Foundry Engineering Society, Vol 64, No 4, pp 260-261.

Morozumi, S., Takeda, H. and Kikuchi, M. (1989). "Strength and Structure of the Bonding Interface in Friction and Explosive-Welded Aluminum and Titanium joints", Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol 39, No 7, pp 501-502.

Ogata, T., Kojoh, K. and Nagayoshi, H. (1998). "Relation Between Tensile Characteristics and Microstructure of

Joint in Friction Welded Ductile Cast Iron", Journal of Japan Foundry Engineering Society, Vol 70, No 12, pp 873-874.

Shinoda, T., Endo, S. and Tanada, K. (1996). "Friction Welding of Cast Iron and Stainless Steels", Quarterly Journal of the Japan Welding Society, Vol 14, No 2, pp 248-254.

2003년 2월 6일 원고 접수
2003년 10월 2일 최종 수정본 채택