

.....
論 文
.....

원심주조법에 의한 주철-Babbitt Metal 복합관 제조에 관한 연구

이충도, 강춘식

A Study on the Fabrication of Cast Iron-Babbitt Metal Composite Pipes by Centrifugal Casting Process

Chung-Do Lee and Choon-Sik Kang

Abstract

Conventional manufacturing process for cast iron-babbitt metal composite is complicate and bimetallic bonding by centrifugal casting is also difficult because their melting point is largely different and nonmetallic inclusion exists on outer shell. This study is aiming to simplify multistage process by adding Cu-powder as insert metals during cast iron solidification. The variables on fabrication of composite pipe are mold rotating speed and inner surface temperature of outer metal. The optimum temperature range for fusion bonding between cast iron and Cu-layer was 1100°C-1140°C in case of mold rotating speed was 700rpm. When the inner surface of Cu-layer was at 900°C, the value of interfacial hardness between Cu-layer and babbitt metal were higher than Cu-matrix by forming diffusion layer, interfacial products between Cu-layer and babbitt metal are proved to be Cu₆Sn₅(η) by XRD.

key word : Centrifugal casting, Cast iron, Composite pipe, Mold rotating speed, Fusion bonding, Diffusion bonding, Babbitt metal

1. 서 론

원심주조법에 의한 Sleeve bearing용 복합관의 기존 제조공정은 강이나 청동등의 외층재와 White metal의 접합을 용이하게 하기 위하여 산세처리 후, 주석이나 납등에 의한 피복공정을 하게 된다. 또한 주철의 경우에는 표면에 존재하는 흑연을 제거하기 위해서 용융염조에 침적산화시킨 후에 환원조, 산세 및 용제처리, 주석피복공정을 거치게 된다. 이러한 외층재를 다시 원심주조기에 부착하여 내층재인 White metal을 주입하는 복잡한 공정으로 이루어져 있다.^{1), 2)} 본 실험에서는 이러한 기존의 다단계 제작공정을 단일공정으

로 단축시키며, 이종재료의 접합시, 큰 용점차이와 외층재의 내면에 잔재하는 비금속개재물에 따른 접합의 가능여부를 조사하였다. 주철과 Babbitt metal접합은 외층재와 내층재의 용융점차이가 크고, 또한 주철이 응고시 내면으로 배출되는 슬래그 및 비금속개재물의 존재 때문에 건전한 접합을 얻기 어려운것으로 알려져 있다.¹⁾

본 연구에서는 Cu분말을 이용하여 Sleeve bearing의 용도에 적합한 특성을 가지는 원심주조 복합재를 성공적으로 제작하였다.

서울대학교 금속공학과 (Dept. of Metallurgical Eng., Seoul National Univ.)

2. 시편제작 및 실험방법

2.1 시편제작

(가) 원심주조 설비 및 온도측정

Fig. 1은 원심주조기와 온도측정장비를 개략적

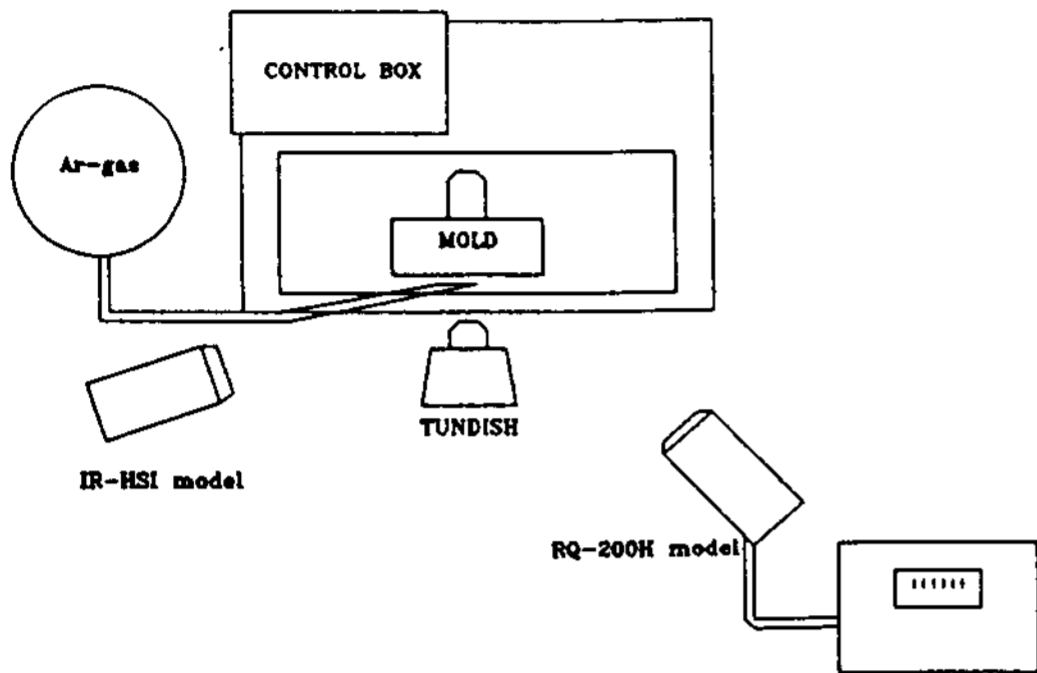


Fig. 1. Schematic illustration of experimental system.

으로 나타낸 것이다. 본 실험에서 사용된 원심주조기의 형태는 수평형 원심주조기로서, 작업중에 발생하는 불가피한 진동을 최대한 방지하기 위해서 방진용 고무판을 원심주조기 하부에 설치하였다. 또한, Cu분말의 주입시 Cu의 산화를 최대한 억제하기 위하여 Ar-gas를 15 l/min으로 주입하였다. 용탕의 표면온도를 측정하기 위하여 광온계(IR-HSI model)를 사용하였고, 보조측정장비로 RQ-200H model를 사용하였다. emissivity의 보정은 IR-HSI model(range 0-1.0)의 경우 6.5, RQ-200H model(range 0.95-1.05)의 경우에는 1.0으로 하여 온도를 측정하였다.

(나) 용 해

주철의 용해는 25kg, 50kHz의 고주파 유도로를 사용하여, 6번 흑연도가니에서 2.4kg를 용해하였다. 또한, Si을 첨가하여 유동도를 개선하였고, 슬래그를 제거하였다. 또한 슬래그를 최대한 제거하기 위하여 Tundish하부에 주철용 Ceramic filter를 삽입하였다. 금형의 도형은 흑연도형제를 알콜에 희석시켜, 주형회전중에 약 0.5mm 정도의 두께로 행하였다. Cu분말은 80-100mesh를 사용하였고, 1회 주입량으로 180g을 사용하였다. Babbitt metal(KS 2종)은 2.0kg을 6번 흑연도가니에서 평판형 전기가열로를 사용하여 용해하였다.

Table 1, 2에 주철과 Babbitt metal의 화학조성을 나타내었다.

Table 1. Chemical composition of cast iron

Element	Composition(wt %)
C	3.48
Si	2.45
Mn	0.53
P	0.068
S	0.012
Ni	-
Cr	-

Table 2. Chemical composition of Babbitt metal

Element	Composition(wt %)
Sn	89
Sb	7.5
Cu	3.5
Pb	0.35
Fe	<0.1
As	<0.08
Bi	<0.08

2.2 시편주조조건

주형을 150-180°C로 예열하여, 외층재인 주철 용탕을 주입하였다. 중간삽입재로서 상온의 Cu분말은 외층재의 내면온도가 1070°C-1160°C인 범위에서 주입하였고, 내층재인 Babbitt metal은 480°C-500°C로 유지하여, Cu층의 내면온도가 700°C와 900°C일때 주입하였다. 또한, 주형의 회전속도는 700, 850, 1000rpm으로 하였다.

외층재인 주철을 주입하여 응고하는 동안에, 중간삽입재로서 Cu분말을 주입하였고, 이러한 외층재가 냉각되는 동안에 Babbitt metal을 주입하였다.

2.3 시편평가방법

(가) 경도측정 및 현미경조직관찰

제작된 시편을 Micro-Vickers경도기로 하중을 200gf로 하고, Load time을 20초로 하여, 7번 측정 후, 최소값과 최대값을 제외한 나머지를 평균하였다. 계면반응층을 광학현미경(O.M) 및 주사전자현미경(S.E.M.)으로 관찰하고, EPMA정성 분석하여, 그 결과를 Dot mapping하였다.

(나) X-선 회절시험

주철과 Cu층간의 계면과 Cu층과 Babbitt metal

간의 계면을 분리하여, 각각 주철과 Babbitt metal층의 계면을 선택하여 X선회절시험(Target : CuK α , 2 θ : 100°-10°, Nifilter, Scanning speed : 6 deg/min)을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 중간삽입재(Cu분말)의 영향

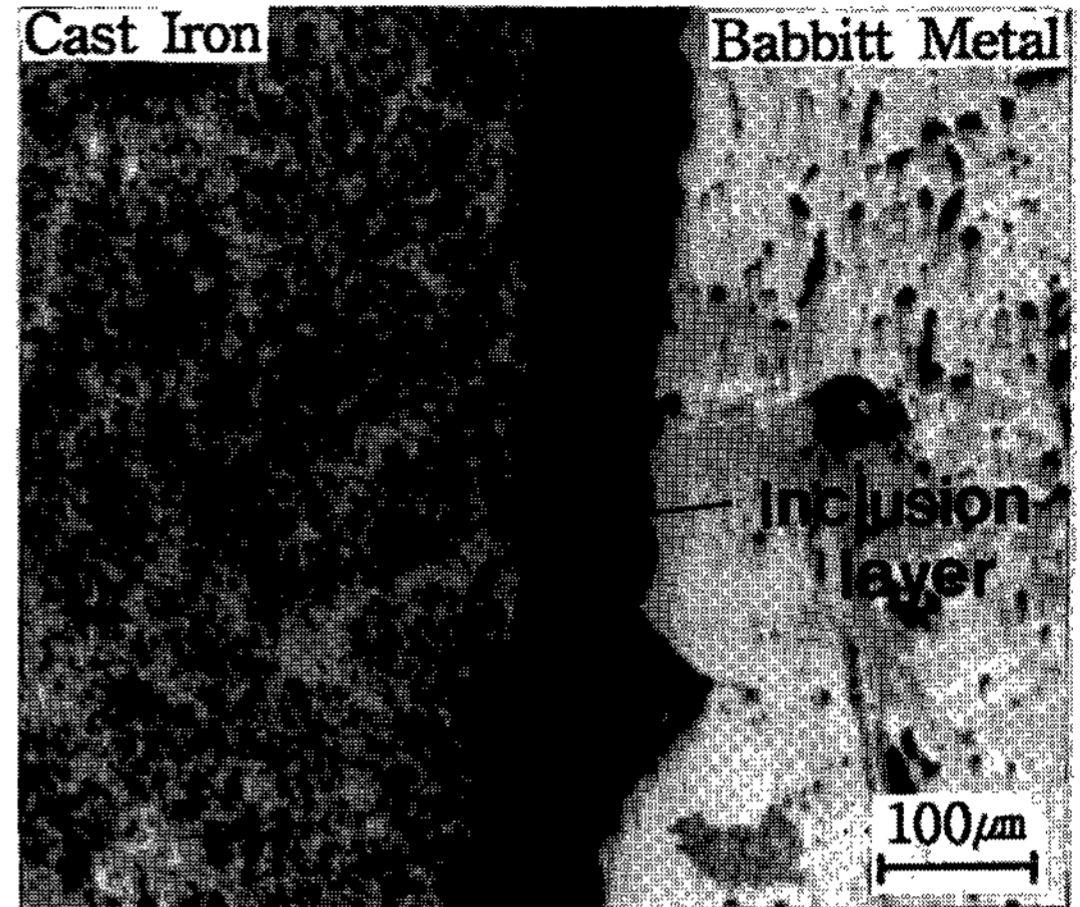
중간삽입재로서 Cu분말을 사용하게 된 이유는 다음과 같다. 첫째, Cu의 높은 밀도에 의하여 주철내면으로 배출되는 소량의 슬래그 및 비금속개재물층을 Cu분말의 용융에 의하여 그의 내면으로 부유시킬 수 있다고 사료되기 때문이다. 둘째로는 주철과의 용점차이가 작기 때문에 용융된 Cu와 Mushy zone내의 주철이 용융혼합되어 양호한 접합을 이룰 수 있으며, Babbitt metal과 Cu층간의 확산접합이 가능하다고 사료되었기 때문이다.²⁾ 또한, Cu분말을 사용함으로써 별도의 용해 및 피복공정을 거치지 않고 직접 주입할 수 있다고 사료되었기 때문이다.

Photo 1은 주철과 Babbitt metal의 원심주조접합시 Cu분말의 사용여부에 따른 접합계면의 형태를 나타낸 것이다. Cu분말을 사용하지 않은 경우(a)에는 주철과 babbitt metal간의 접합이 거의 이루어지지 않았지만, 반면에 Cu분말을 사용한 경우 (b)에는 주철층이나 babbitt metal층과의 양호한 접합을 얻을 수 있었다.

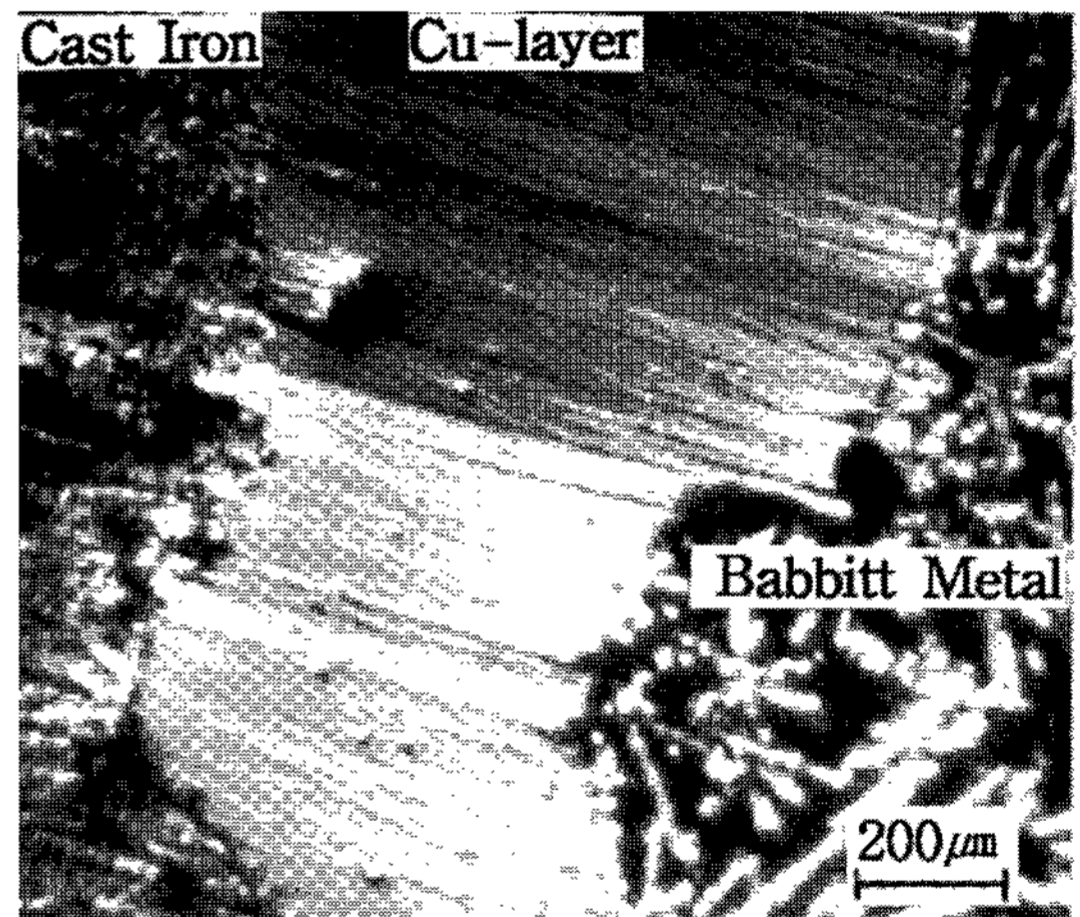
3.2 외층재 내면온도와 주형회전속도에 따른 영향

본 실험에서 용탕주입시 측정된 온도는 실제 내면온도보다 낮을 것으로 사료된다. 이는 외층재인 주철과 삽입재인 동분말에 대한 emissivity의 보정에 대한 data부족과 외층재인 주철이 응고할 경우 내면으로 배출되는 슬래그와 비금속개재물층, Ar gas에 의한 표면온도의 저하, 또한 동분말을 주입할 경우 불가피한 동분말의 산화등이 고려되어야 할 것으로 판단되기 때문이다.³⁾

원심주조복합재를 제작하는 경우에는 주형의 회전속도와 내외층재의 접촉온도, 비금속개재물의 부유등을 고려해야 한다. 또한 주형의 회전속도는 용탕과 주형간의 미끄럼 및 용탕의 점성, 용락현상(Raining)등을 고려하여 주형의 최저회전속도이상이어야 한다.⁴⁾



(a)



(b)

Photo 1. Effect of Cu on bond interface between cast iron and Babbitt metal.

(a) No Cu-powder

(b) Cu-powder

Fig. 2는 주철과 Cu의 혼합을 방지하면서 주철내면의 슬래그 및 비금속개재물층을 부유시켜 건전한 외층재와 중간삽입재의 접합을 얻을 수 있는 최적주조조건을 나타낸 것이다. 주형의 회전속도가 700rpm이고, 주철의 내면온도가 1100°C-1140°C인 경우에는 용융된 Cu에 의하여 주철내면의 슬래그 및 비금속개재물층이 부유되어, 주철과 Cu층과 양호한 용융접합을 이룰 수 있었다. 또한 주형의 회전속도가 1000rpm으로 증가할수록, 접합가능한 온도범위는 증가하였는데, 이는 원심력의 효과가 증대되기 때문으로 판단된다.

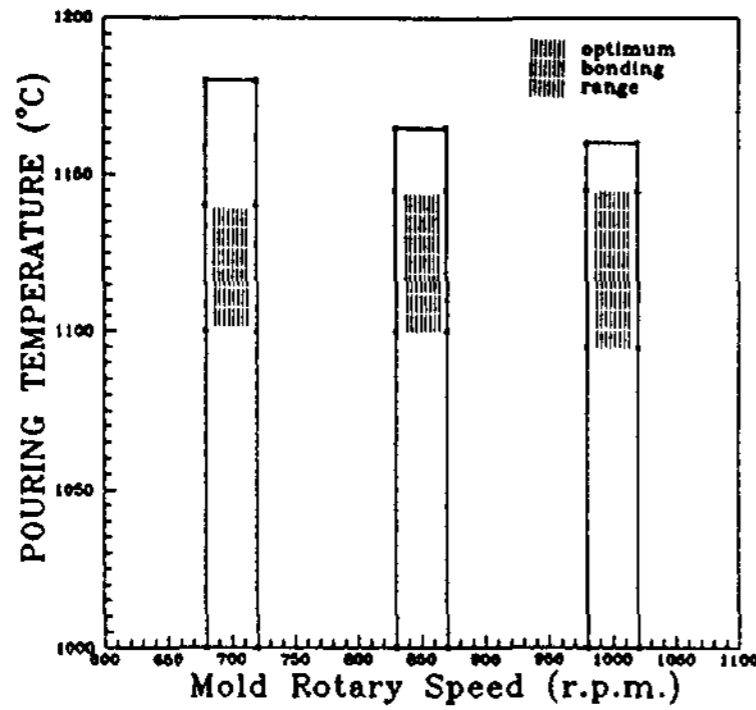


Fig. 2. Bonding zone between cast iron and Cu-layer.

그러나, Cu분말을 주철의 내면온도가 약 1145°C 이상의 온도에서 주입한 경우, 용융된 Cu가 주철 내부로 원심력에 의하여 혼합되는 경우가 발생하였는데, 이는 주철이 고상선 이상의 온도에 존재하기 때문으로 사료된다.

Photo 2는 Cu층 내부에 다량의 Pore가 존재하

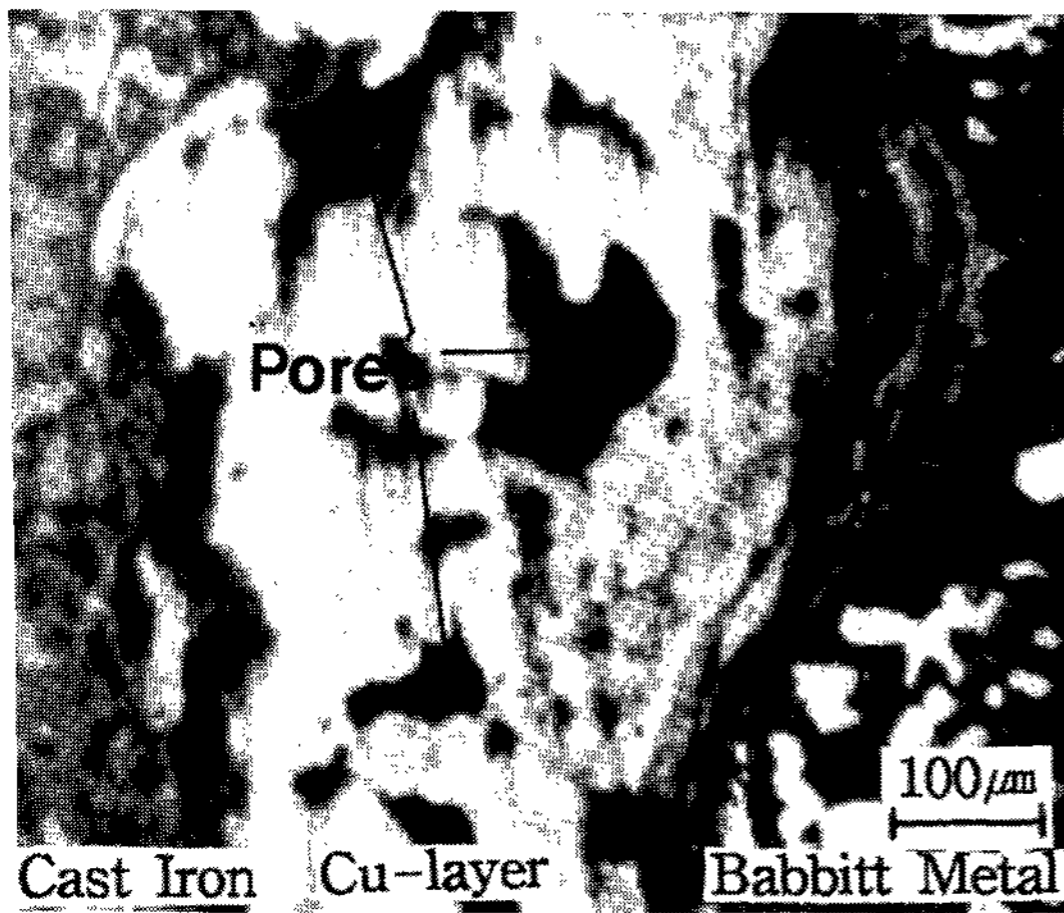


Photo 2. Microstructure of pore in bond interface.

는 것을 나타낸 것이다. 이는 주철의 내면온도가 1075°C에서 Cu분말을 주입한 경우로서 Cu분말의 일부만 용융되고, 비용융된 Cu분말은 내면으로 부유된 것을 실험을 통하여 알 수 있었다. 이러한 Pore의 생성은 주철의 낮은 내면온도에 따른 불완전한 Cu분말의 용융에 의한 것으로 판단된다.

Cu와 Babbitt metal과의 계면반응에 필요한 접

촉온도를 부여하기 위해서 내층재인 Babbitt metal를 Cu층의 내면온도가 각각 700°C와 900°C일 때 주입하였다. Photo. 3은 주형회전속도가

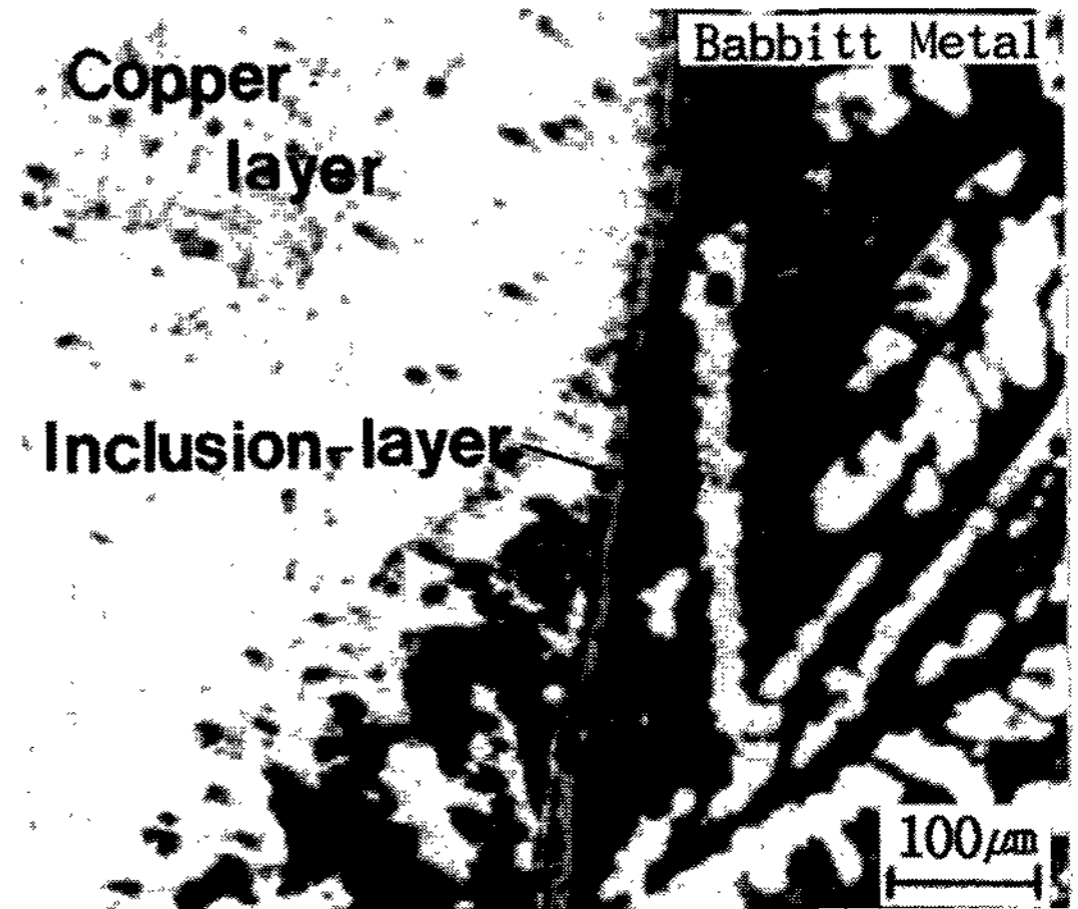


Photo 3. Inclusion in bond interface.

700rpm이고, Cu층의 내면온도가 900°C일 때, Babbitt metal을 주입한 것으로 연속적으로 존재하는 비금속개재물층이 분리되는 위치를 나타낸 것이다. 이와같은 비금속개재물층을 850rpm 이하의 회전속도에서 Cu층과 Babbitt metal사이에 불연속적으로 존재하였는데, 이것은 비금속개재물의 부유에 요구되는 원심력이 부족하고, Cu층의 내면온도가 900°C일 때, 주입하는 것보다 액체상태로 존재하는 상대적인 시간이 적기 때문으로 사료된다.

반면에, Cu층의 내면온도가 900°C일 경우와 주형의 회전속도가 1000rpm으로 증가할 경우에는 비금속개재물이 거의 존재하지 않는 양호한 접합상태를 얻을 수 있었는데, 이는 회전속도의 증가에 의한 원심력의 증가와 액상유지시간의 증가 및 높은 계면접촉온도에 기인하는 것으로 판단된다.

Photo 4는 주형의 회전속도와 외층재 내면온도에 따른 접합계면의 형태를 나타낸 것이다. (a)와 (b)는 각각 700, 850rpm에서 주철내면온도가 1148°C, 1155°C일 경우의 접합계면으로서 Cu가 주철내부로 혼입되는 형태를 보인다. (c)는 주형회전속도가 1000rpm일 때, 주철내면온도가 1120°C에서 Cu분말을 주입하였고, Cu층의 내면온도가 700°C에서 Babbitt metal을 주입한 것으로

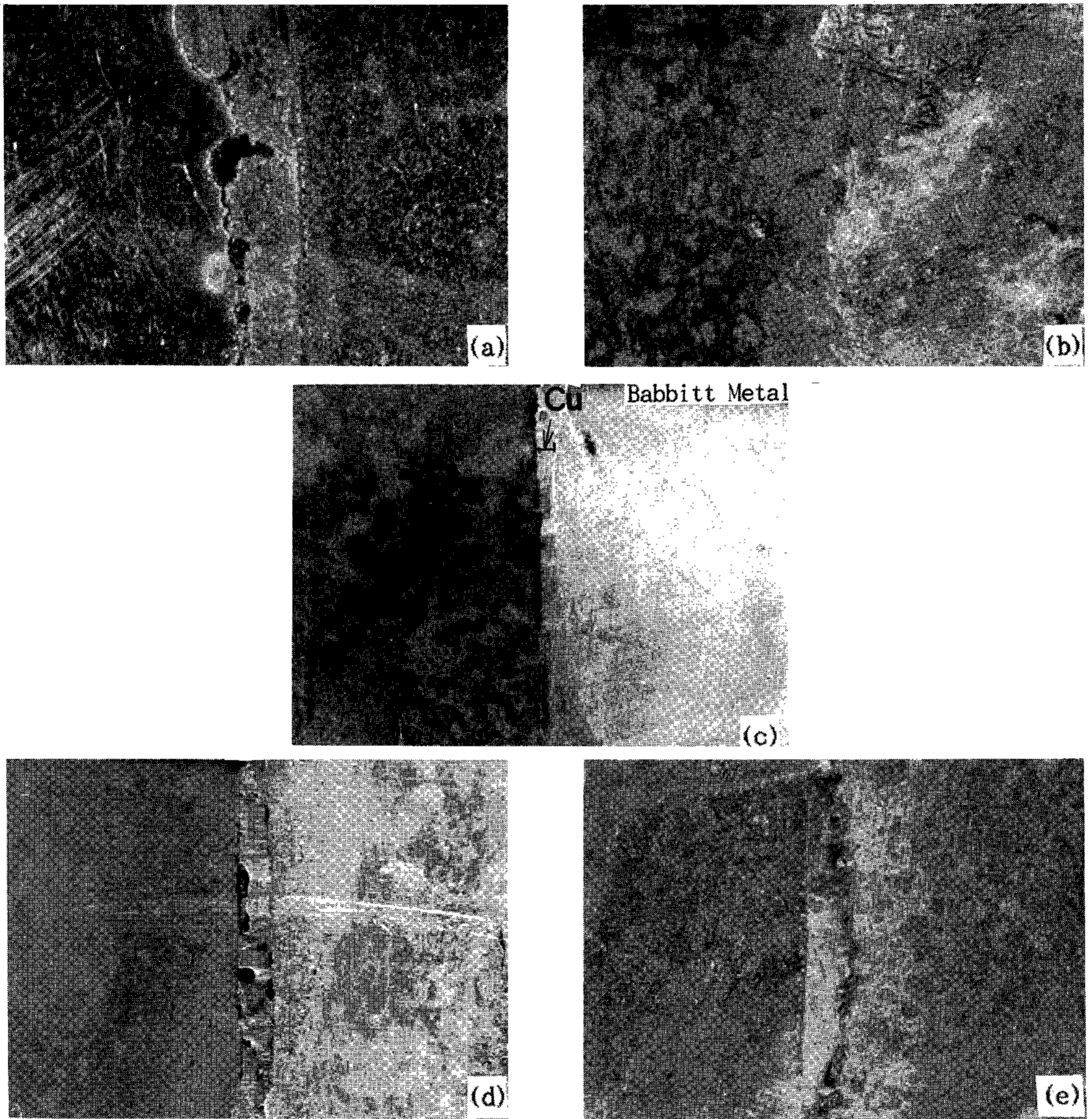


Photo 4. Macrostructure of bond interface for cast condition.

Specimen	Mold rotating speed	Inner temp. of cast iron (°C)	Inner temp. of Cu-layer (°C)
(a)	700	1148	700
(b)	850	1155	700
(c)	1000	1120	700
(d,e)	700	1110	595

서 양호한 접합상태를 보인다. (d)와 (e)는 각각 주철내면온도가 1100°C, Cu층의 내면온도가 약 595°C인 경우의 접합부 형태로서, 접합부에 결합이 존재함을 알 수 있다.

Photo 5는 접합계면의 전자현미경과 EPMA정

성분석 결과를 Dot mapping한 것이다. 주철과 Cu층사이의 계면에서 Fe와 Cu의 용융혼합에 의한 반응영역이 형성됨을 알 수 있다. Babbitt metal과 Cu층간의 접합계면에서는 확산반응층이 형성됨을 알 수 있으며, 이는 미소경도시험에 의

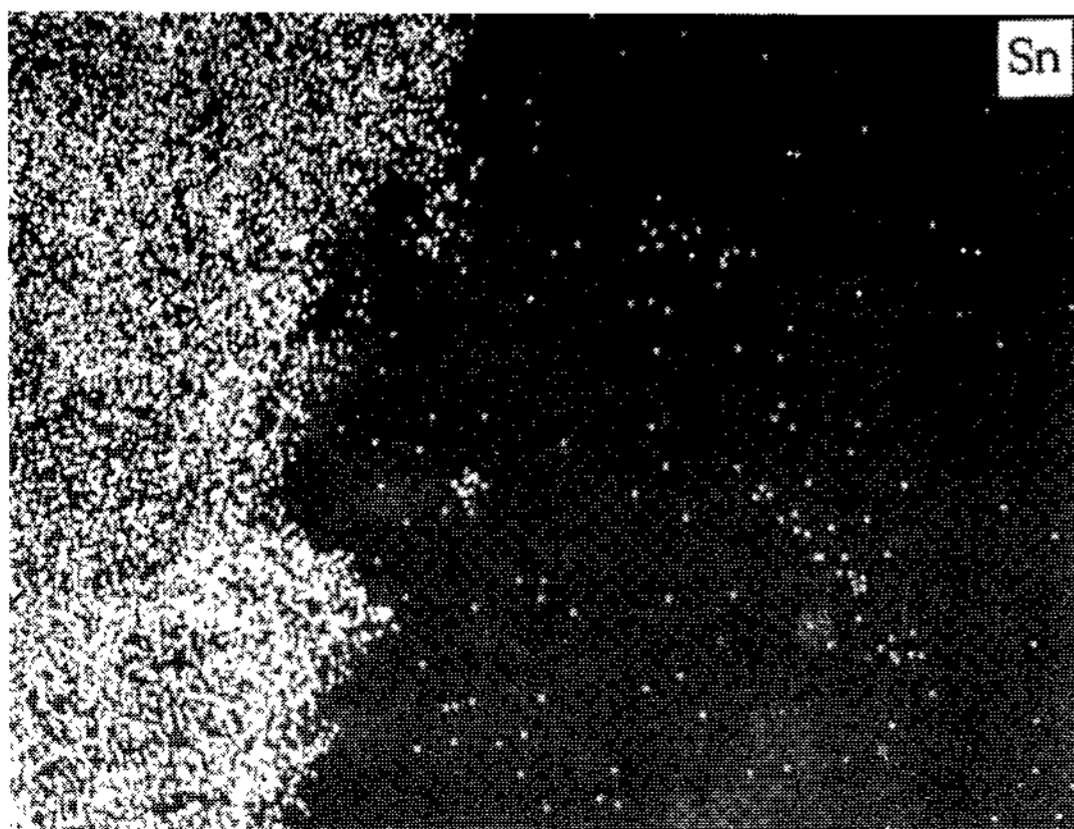
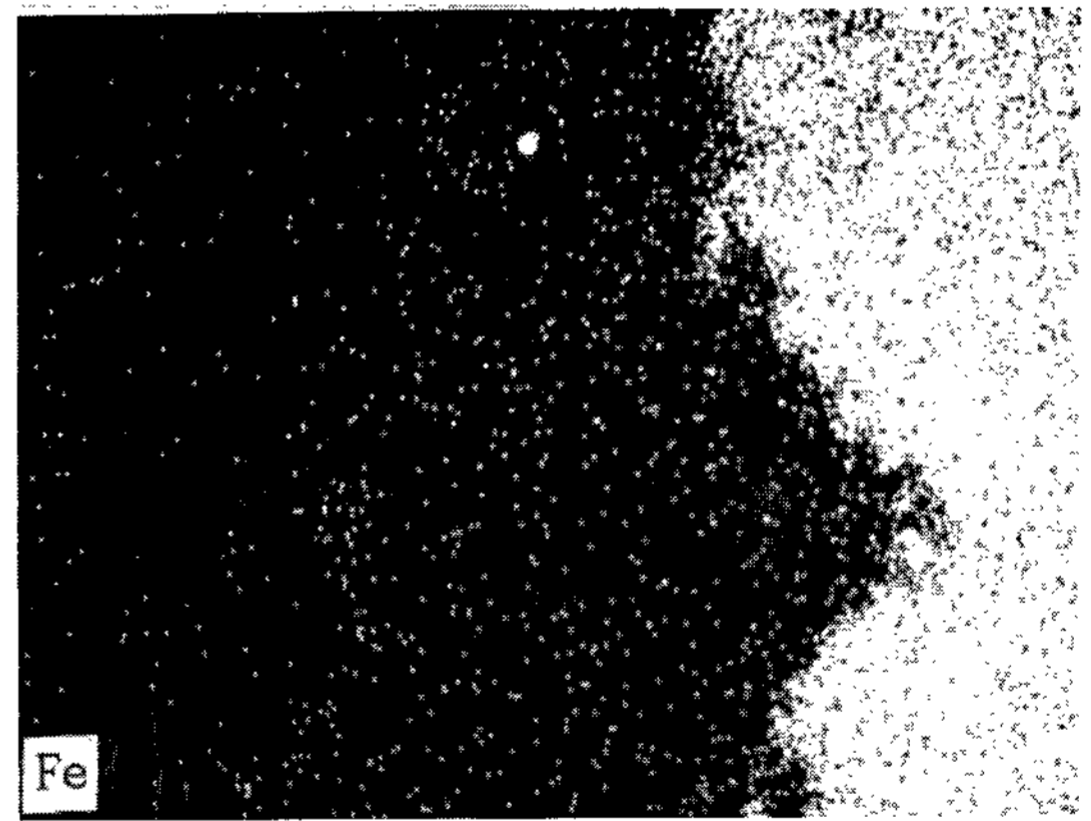
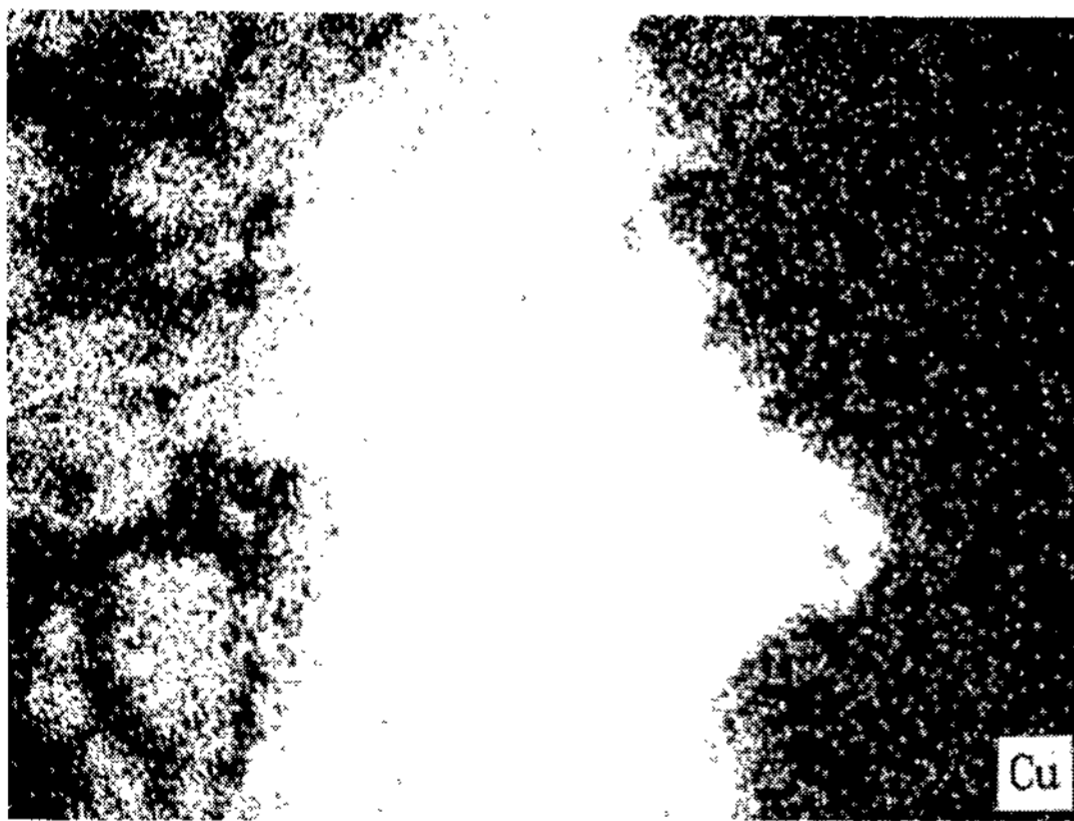
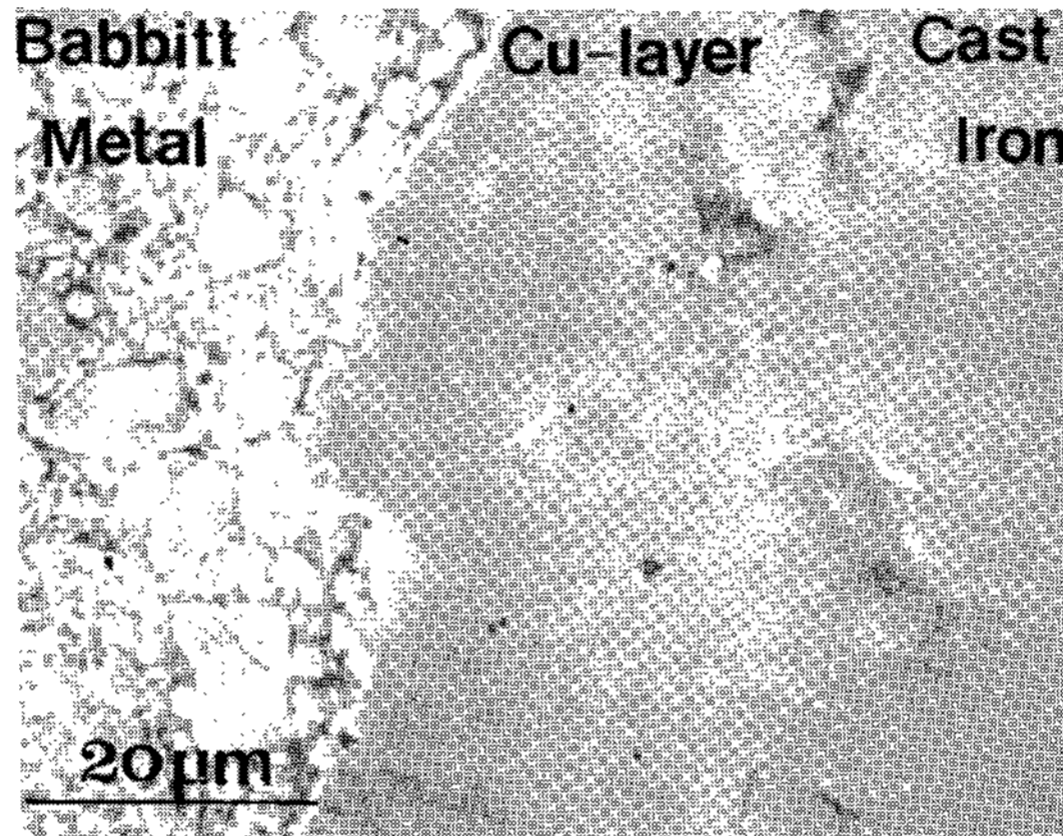


Photo. 5 Microstructure and EPMA(WDX) of bond interface.
 Mold rotating speed : 1000rpm
 Pouring temp. of Cu-powder : 1120°C, Babbitt metal : 700°C

해서 확인할 수 있었다. 이러한 반응층은 Cu층내면온도가 900°C일때 Babbitt metal을 주입할 경우에 더욱 증가할 것으로 사료된다. 또한, Babbitt metal에 존재하는 Sb의 경우, 계면접합에 대하여 아무런 영향이 없는 것을 알 수 있다.

3.3 원심주조 조건에 따른 경도값의 변화

주철과 Babbitt metal의 복합관은 보통 Sleeve bearing으로 사용되기 때문에, 접합부의 압축강도를 간접적으로 판단하기 위해서 미소경도분포를

측정하였다.⁵⁾

Fig. 3과 4는 각각 Cu층내면온도가 700°C와 900°C일 때, Babbitt metal를 주입한 경우로서 주형의 회전속도에 따른 경도분포를 나타낸 것이다. 주형의 회전속도가 증가함에 따라서 대체로 경도값이 증가하는데, 이것은 회전속도의 증가에 따른 원심력의 영향 및 냉각속도와 진동의 증가에 의해 결정립이 미세화되었기 때문으로 사료된다.⁶⁾

주철과 Cu층간의 경면경도는 주형회전속도에 따라서 증가하는 경향을 보였지만, Cu층과 Babbitt metal간의 계면경도는 주형의 회전속도보다는, Cu층의 내면온도에 따라서 큰 차이를 보였다. 주형 회전속도가 700, 850rpm의 경우, Babbitt metal을 Cu의 내면온도가 700°C일 때 주입한 경우 Babbitt metal모재부와 비슷한 계면경도값을 나타냈다. 그러나, 900°C에서 주입한 경우에는 약 100MHv로서, Cu층 내부의 경도값보다 높게 나타내었다. 이것은 900°C에서 주입한 경우가 700°C에서 주입한 경우보다 확산접합에 요구되는 Babbitt metal의 긴 액상유지시간과 높은 계면 접촉온도를 부여하기 때문으로 사료된다.

주형회전속도가 1000rpm일 경우에는, 700, 850rpm의 경우보다 경도값이 전반적으로 증가하였다. 이는 Cu층의 내면온도가 700°C일 때 주입한 경우에는 주형회전속도에 의한 영향이 지배적이지만, 900°C에서 주입한 경우에는 주형회전속도와 Cu층 내면온도의 영향이 복합적으로 나타난 것으로 판단된다.

3.4 X선 회절시험의 결과

Fig. 5는 X선회절 시험결과를 JCPDS-Card와 비교하여, 주된 구성원소에 대해서 화합물을 중심으로 나타낸 것이다.

Babbitt metal과 Cu층간의 계면에서는 Sn과 Cu의 산화물과 반응생성물로 사료되는 η -Cu₆Sn₅의 회절선이 보였다. 주철과 Cu층간의 계면에서는 Cu, Fe, S의 화합물(Copper Iron Sulfide)에 가까운 회절선이 나타나는데, 불규칙한 계면형태와 Cu-Target의 사용으로, 회절선을 명백하게 규명할 수는 없었다. 그 이외에도 회절선이 나타나는데, 이는 다른 화합물의 형성과 시편의 오염에 의한 것으로 판단된다.

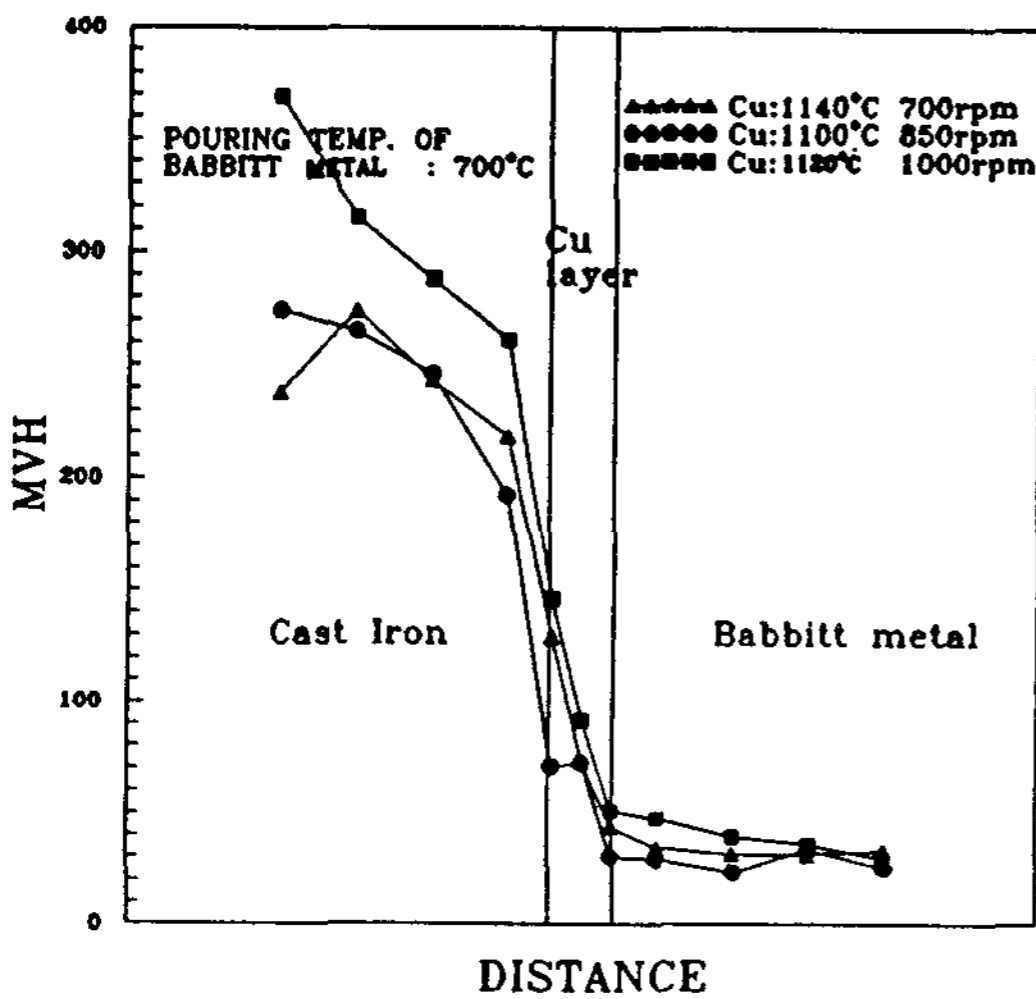


Fig. 3. Effect of mold rotating speed on micro-hardness.

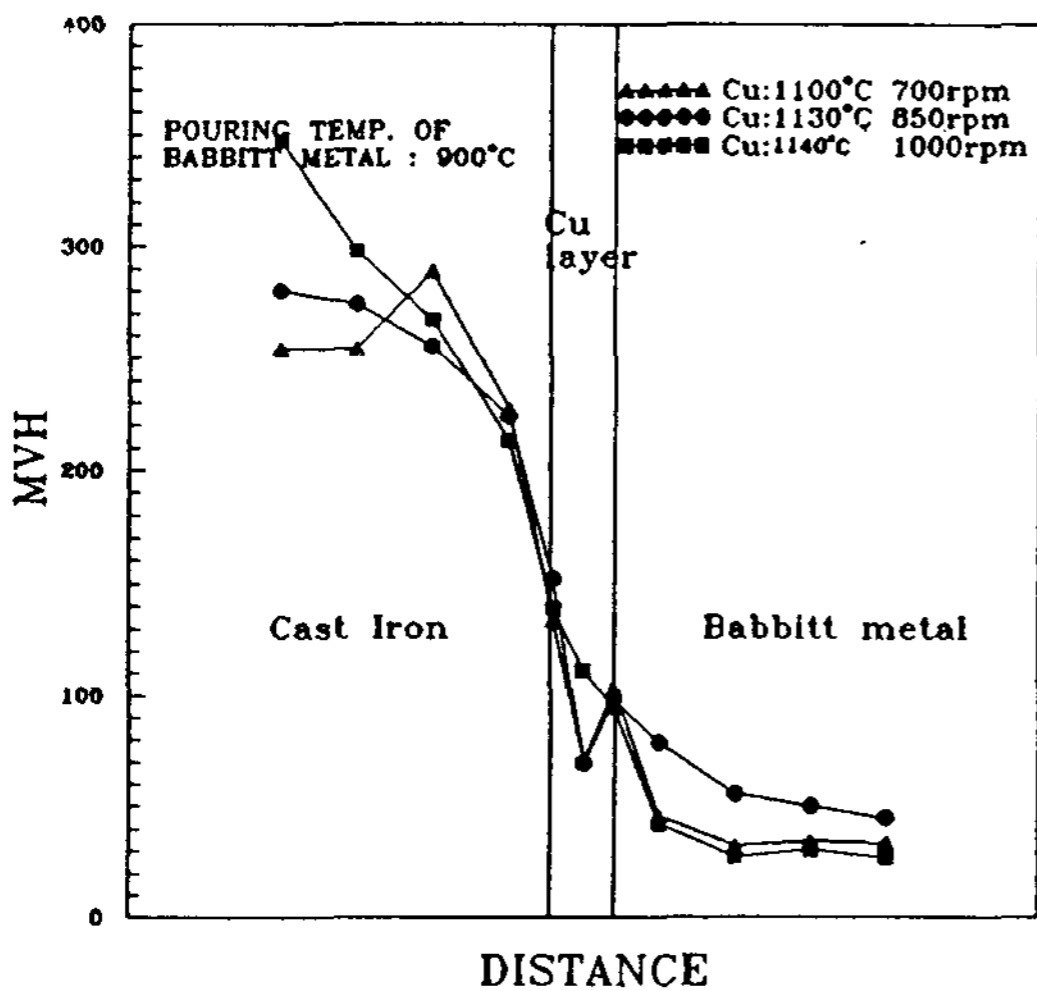


Fig. 4. Effect of mold rotating speed on micro-hardness. Pouring temp. of Babbitt metal : 900°C (Spacing of test position : 5/100mm)

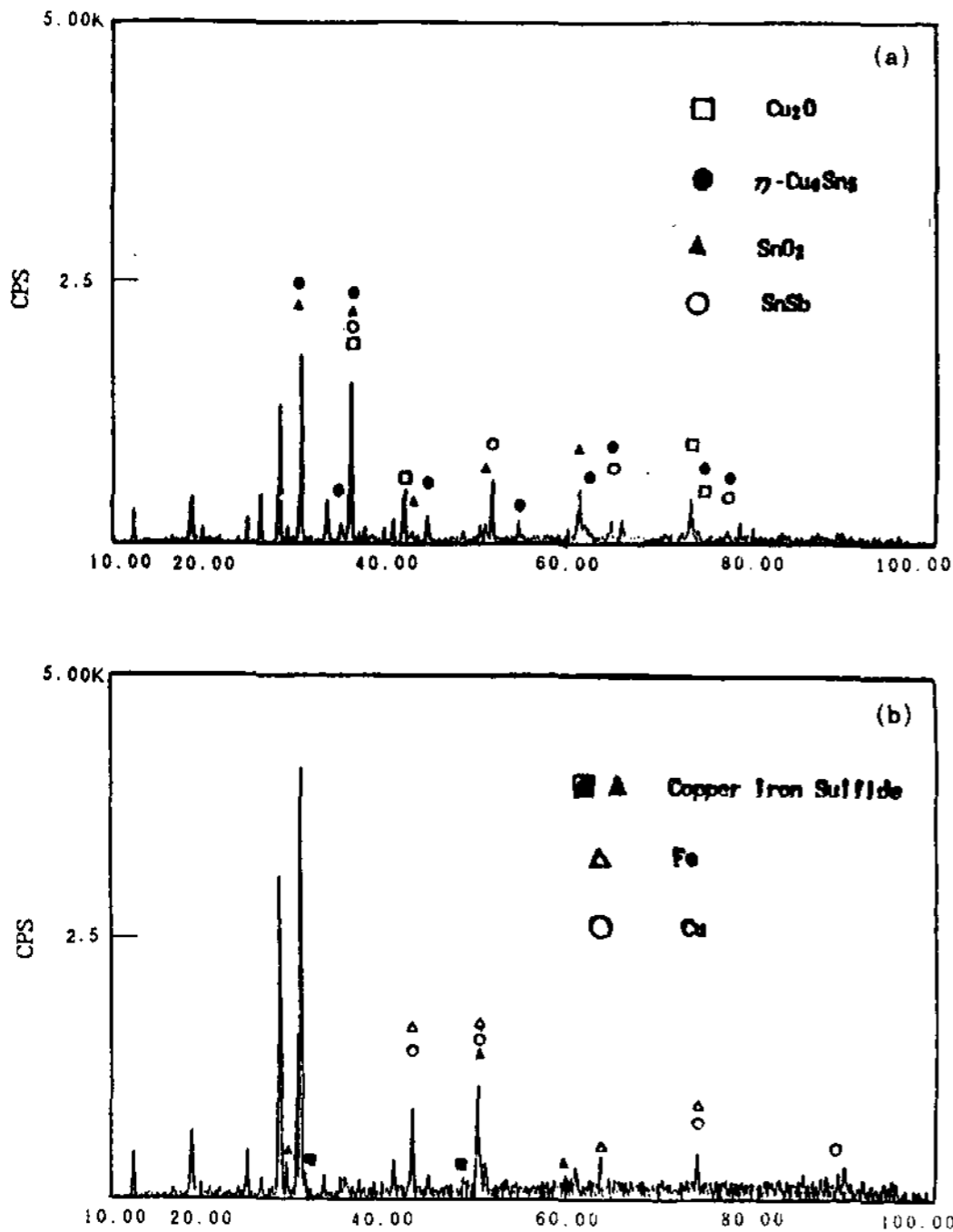


Fig. 5. X-ray diffraction pattern
 (a) Interface between Cu-layer and Babbitt metal
 (b) Interface between cast iron and Cu-layer

4. 결 론

주철과 Babbitt metal을 각각 외층재와 내층재로 하고, 중간 삽입재로 Cu분말을 주입하여 원심주조접합을 시도하여 접합상태를 고찰한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 접합의 최대변수는 슬래그 및 비금속개재물의 부유로서, 이는 중간삽입재인 Cu분말의 용융상태에 크게 좌우되는데, 700rpm이상의 회전속도에 대하여 1100°C-11400°C의 주철내면온도가 Cu분말의 용융에 최적조건이었다.
2. Cu와 Babbitt metal의 접합계면은 Cu층의 내면온도가 700°C일때보다 900°C인 경우에 Cu층

내부보다 더 높은 계면경도값을 가지는 반응층을 형성하였다.

3. 주철내면의 슬래그 및 비금속개재물층, 외부공기와의 접촉, Emissivity의 보정등의 문제로 인하여 정확한 온도측정이 곤란하였으며, 실제내면온도는 측정온도보다 약간 높을 것으로 사료된다.
4. 주형의 회전속도를 증가시켰을 경우, 접합계면에서의 개재물이 감소하여 양호한 접합계면을 얻을 수 있었으며, 중간삽입재 및 내층재의 주입가능한 온도범위도 증가하였다.
5. Babbitt metal과 Cu층간의 계면화합물은 Sn, Cu의 산화물과 η-Cu₆Sn₅형태의 화합물인 것으로 판명되었다.

참 고 문 헌

1. 京藤和彦, “特殊鑄造法”, 日刊工業新聞社, (1968) p.231.
2. Y.Ijiri, P.K. Liaw, B.J. Taszarek, S. Forhlich, M. N.Gungor, “Correlation of Mechanical Properties with Nondestructive Evaluation of Babbitt Metal/Bronze Composite Interface”, Metal, Trans. A, 19A(1988), p.2215
3. 최상호, 강춘식, “원심주조한 스테인리스강-주철 이중복합관의 기계적 성질에 관한 연구”, 한국주조공학회지, 8, (2) (1988), p.42
4. Frank M. White, “Heat and Mass transfer”, Addison-Wesley Publishing Co.,(1988)
5. Thomas Watmough, “Centrifugal Casting”, Foundry, Nov., (1961), p.96
6. Metal Handbook, 8-th edition. vol. 1, p.843
7. J. Campbell, “Effect of vibration during solidification”, International Metals Review, (1981) p.71.