

# 압연공정을 이용한 가전용 신 바이메탈재의 개발

박상순<sup>1</sup> · 배동수<sup>#</sup> · 이제현<sup>2</sup> · 배동현<sup>3</sup>

## Development of New Bimetal Material for Home Appliances by Using the Rolling Process

S. S. Park, D. S. Bae, J. H. Lee, D. H. Bae  
(Received May 10, 2007)

### Abstract

The bimetal materials of home appliances are mainly manufactured by cladding process and these are almost consisted with Cu alloy and Ni alloy. But it is very difficult to clad these alloys, because the brittle  $\text{Cu}_3\text{O}_4$  oxide film formed easily on Cu alloy surface during cladding process. Clad rolling and heat treatment processes were applied for the development of bimetal materials by using the Ni alloy and the 3 types of Cu alloys. Optical microstructure, micro-hardness, specific resistance, and deflection and line profile of newly processed bimetal specimens were observed and measured in this paper. Inter-diffusion was observed between Cu and Ni element in the interface of heat treated Cu alloy and Ni alloy clad material. The C1220 and Invar36 clad material showed the best property of deflection among the 3 kind of clad materials.

**Key Words** : Bimetal, Cladding, Hardness, Specific Resistance, Deflection

### 1. 서 론

클래딩(Cladding)은 금속소재의 표면 위에 특성이 다른 금속 재료를 압연이나 다른 수단으로 가압하여 접합하는 공정으로, 한 요소에 2종이상의 다른 특성을 요구하는 분야에 사용되는 금속복합소재로의 제조방법으로 이용되고 있다[1~6].

이와 같은 클래딩 공정을 이용하여 개발된 바이메탈(bimetal)은 가전제품의 부품소재로, 과전류가 흐르면 온도가 증가하면서 변형하여 전류의 흐름을 차단함으로써 가전제품의 고장을 방지해주는 역할을 하거나, 설정온도에 맞추어 전류의 흐름을 조절하는 온도조절용 센서로 작용한다.

바이메탈의 주요 용도는 TV, 에어컨, 세탁기, 전자레인지, 전기 다리미, 라디오 카세트, DVD플레이

어, 냉장고 등의 가정용 가전제품과 자동차 부품을 포함한 산업용 전자장비 등이 있다.

현재 국내에서 사용되고 있는 바이메탈(Cu합금/Ni합금)재는 일본과 미국에서 주로 생산하고 있는 소재로서 점차 국내수요가 증가하고 있어, 국산화가 요구되고 있다. 그러나, 바이메탈의 제조 공정 중에 그 구성재료인 Cu합금의 표면에는 취성의  $\text{Cu}_4\text{O}_3$ 산화피막이 형성되기 쉬워 클래드재의 계면 접합특성에 나쁜 영향을 미치므로[7], 바이메탈 클래드재의 국산화가 어려운 실정이다. 그리고, 현재 수입되고 있는 바이메탈재의 구성재료는 열팽창률이 서로 다른 Cu합금과 Ni합금으로 되어 있는 것만 알고 있으며 정확한 성분은 알려지지 않은 상태이다.

따라서 본 연구에서는 바이메탈 클래드재에 대

1. 동의대학교 대학원 신소재공학과  
2. 국방기술품질원  
3. ㈜한국클래드텍(KCT)  
# 교신저자: 동의대학교 신소재공학과  
E-mail: dsbae@deu.ac.kr

한 기존 부품수요 및 신규 수요를 창출하고, 작은 전류의 흐름에도 바이메탈의 휨 정도가 정확하고 우수한 가전용 신 바이메탈을 압연 클래딩 공정을 이용하여 개발하는데 목적을 두었다.

## 2. 제조공정

제조공정은 Fig. 1에 나타난 순서와 같이 Cu 합금/Ni 합금의 냉연압연재를 1차 압연하여 접합시키고 곧바로 응력제거 열처리를 행한 후 최종 두께로의 압연 및 최종 열처리를 행하였다.

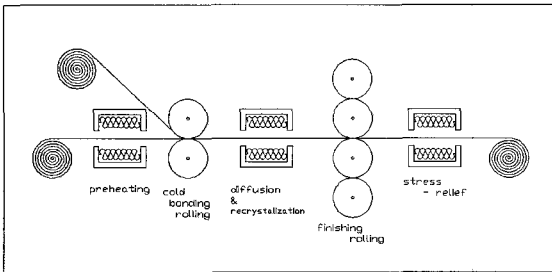


Fig. 1 Schematic manufacturing process of cladding

## 3. 실험방법

본 연구에서 사용된 시편은 동계합금(C1100, C1220, C5210)과 Invar36으로서 각각의 화학조성과 경도 및 전기적 특성을 Table 1~Table 3에 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of used materials

Sheet	Chemical composition (%)
Invar36	Fe: Bal Ni: 36
C1100	Cu: 99.9
C1220	Cu: 99.9 P: 0.04
C5210	Cu:Bal. Sn: 7.0~9.0 P: 0.03~0.35

Table 2 Electrical properties and hardness of Cu alloy

sheet	Electric Conductivity (IACS%)	Thermal Expansion Coefficient ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	Hardness (Hv)
C1100	Min 100	16.8	75~120
C1220	86	16.8	75~120
C5210	11	17.8	140~205

Table 3 Electrical properties and hardness of Invar36

sheet	Thermal conductivity (W/m·k)	Thermal Expansion Coefficient ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	Hardness (Hv)
Invar 36	Min 100	135	210~240

시편의 선정은 일본 제품의 소재를 자체 분석한 후 이루어졌고 3종의 동계합금과 Invar36을 각각 클래딩하여 C1100/Invar36과 C1220/Invar36 및 C5210/Invar36의 기준시편을 비교분석 하였다.

### 3.1 미소경도시험

미소경도시험은 제조공정에서의 각각 1차 압연, 응력제거 열처리, 최종 압연 및 최종 열처리를 실시한 이후의 총 4회에 걸쳐, 마이크로 비커스 경도기(100g·15sec)를 이용하여 각각 12회씩 측정 한 후, 각각의 최대값 및 최소값을 제외한 측정치의 평균값으로 산출하였다.

### 3.2 금속현미경 관찰 및 선분석

금속 현미경을 이용하여 압연에 의한 접합계면과 열처리에 따른 결정입자의 형상을 관찰하였다.

접합계면에서의 합금성분의 분포를 관찰하기 위하여 EDAX를 이용하여 선분석(line profile)을 실시하였다. 관찰용 시편은 클래드재를 적당한 크기로 절단, 냉간 마운팅한 후 연마하였으며 Cu합금 계열은 ferric chloride용액을 그리고 Invar36합금은 3%Nital용액을 이용하여 에칭 처리를 행하였다.

### 3.3 비저항 측정

비저항 측정을 위해 Fig. 2의 기준 시편을 제작하였다. 시편의 폭이 넓어지게 되면 전류의 손실이 발생하게 되므로 2mm의 폭으로 통일하였다.

비저항은 한국 전기 연구원에서 저항 측정을 행하였으며, 전류는 100mA, 전압의 +와 -간극은 1.5cm로 균일하게 유지하며 저항을 측정하여 비저항으로 환산하였다. 아세톤과 에틸 알코올을 이용하여 표면을 충분히 세척한 후 조건 하나당 2~3회씩 반복 실험하여 시험오차를 줄였다.

### 3.4 휨을 시험

휨을 시험에 사용된 시편의 크기를 Fig. 3에 나타내었으며 Fig. 4에 그 측정방법의 개략도를 나타내었다.

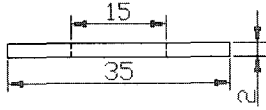


Fig. 2 Dimension of specific resistance test specimen (unit:mm)

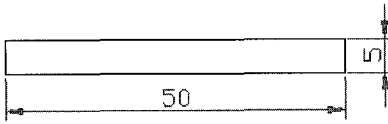


Fig. 3 Dimension of deflection test specimen(unit : mm, thickness : 0.2)

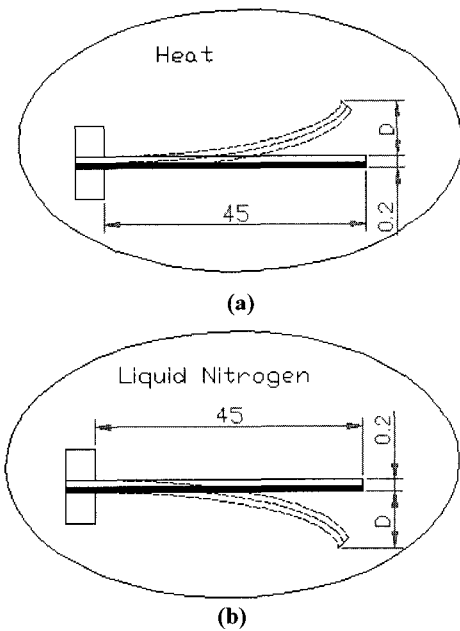


Fig. 4 Schematic methods of deflection test of (a) heating and (b) cooling condition

측정영역은 상온 이상의 범위로 대기중에서는 400℃, 유욕(oil bath)에서는 270℃까지 시행하였다. 휨율의 측정 이전에 최종 열처리를 실시하였고 3종의 시편을 각각의 측정온도에서 30분간 유지하였다. 측정 시 온도 변화를 최소한으로 하기 위해 시편을 로(furnace), 유욕내에 두고 카메라로 접사하여 고정시켜둔 스테인리스강 눈금자로 변위량을 측정하였다. 저온영역에서의 휨율 측정은 에틸알콜에 액체질소의 주입량을 조절하여-100℃까지 측정하였으며, 고온영역에서와 동일한 방법으로 시행하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 미소경도

1차 압연 이후 측정된 경도에서는 Fig. 5에 나타낸 것처럼 C5210의 경우는 경도가 250Hv까지 상승한 것을 알 수 있었지만, C1100 및 C1220의 경우는, Fig. 5에 나타내지는 않았으나, 1차 압연 후에도 경도의 변화는 관찰되지 않았다. 이는 압연 및 열처리에 의해 형성된 GP(Guiner-Preston)정체와 준안정상인  $\epsilon'$ 의 석출로 인한 증가로 보여진다[8]. 열처리 이후 동계합금 3종과 Invar36의 클래드제의 경도를 측정된 결과, 동계합금의 경우 400~800℃영역에 걸쳐 후속 압연공정에 적합한 경도영역을 보였으나, Invar36의 경우 700~800℃영역에서 후속 압연공정에 적합한 경도인 200Hv이하로 경도가 감소하였다.

Fig. 6은 C1220/Invar36 클래드를 최종 압연 한 다음 응력제거 열처리를 한 후의 경도를 측정된 결과를 나타낸다.

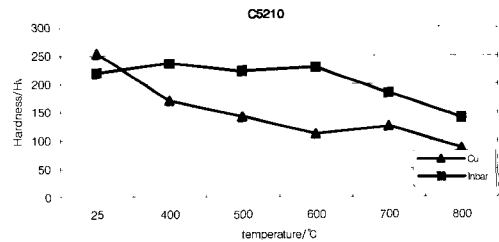


Fig. 5 Changes of hardness of C5210/Invar36 clad with heat treatment temperature

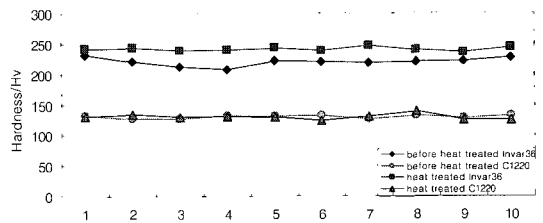


Fig. 6 Changes of hardness with before and after heat treatment

Fig. 6에서 보는 바와 같이 C1220의 경우는 열처리 전 및 후의 경도는 거의 일치하였다. Invar합금의 경우에도 220과 240Hv로 약간 경도가 오르는 하였으나 기준시편의 허용범위 내의 수치로 판단되었다.

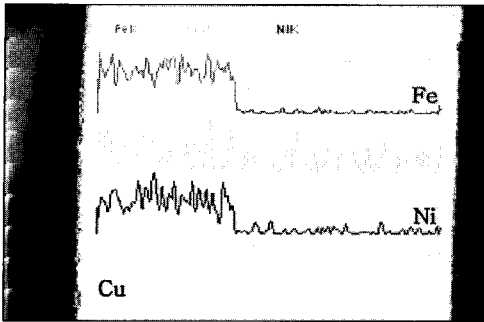


Fig. 7 Line profile concentration near an interface of C1220 and Invar36 clad material

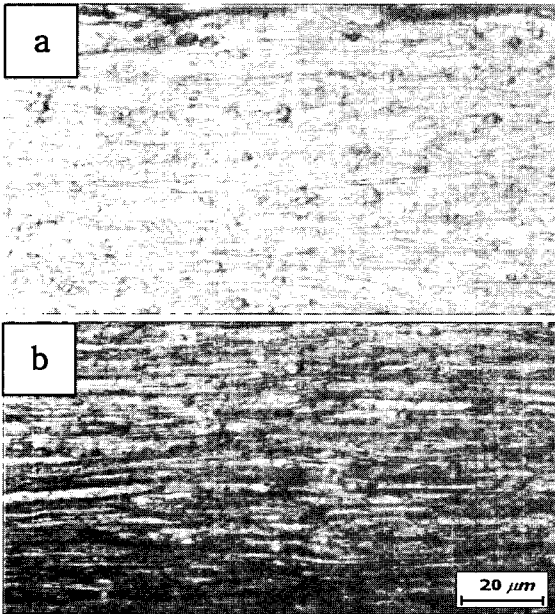


Fig. 8 Metallographies of (a) before heat treated and (b) heat treated Invar36 of C1220/Invar36 clad material

#### 4.2 금속현미경 조직 및 선분석

Fig. 7 은 최종 열처리한 C1220/Invar36 클래드재의 계면에서의 합금성분의 분포상태를 보여준다. Cu 와 Ni 원소가 열처리에 의해 접합계면을 경계로 상호 확산되어있어 두 재료간의 접합상태가 양호한 것을 알 수 있다.

최종압연 후 최종 열처리 전·후의 바이메탈 클래드재 중의 Invar36 의 금속현미경 조직은 Fig. 8, 그리고 C1220 의 조직은 Fig. 9 에 나타내었다.

Fig. 8(a)에서 열처리전의 Invar조직은 거의 파괴

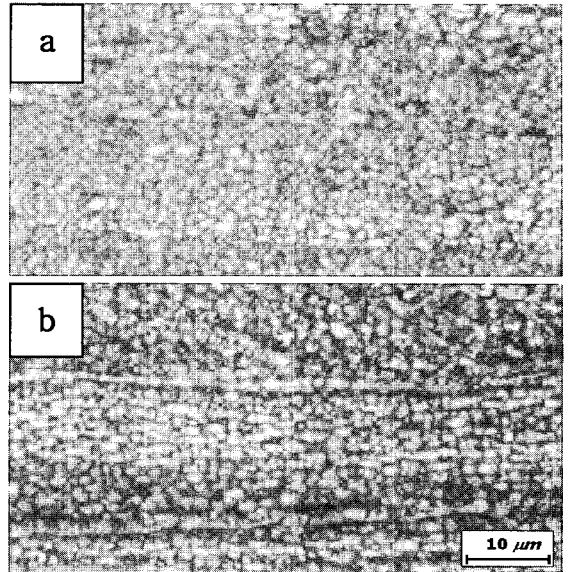


Fig. 9 Metallographies of (a) before heat treated and (b) heat treated C1220 of C1220/Invar36 clad material

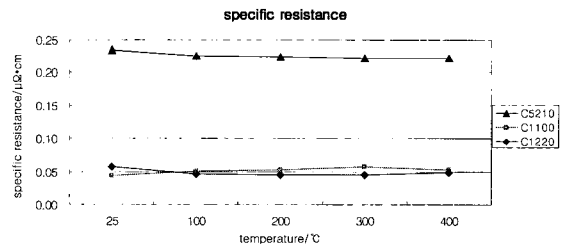


Fig.10 Changes of specific resistance with heat treatment temperature

되어 있는 것을 알 수 있다. Fig. 8(b)는 열처리 후의 조직으로, Fig. 8(a)와 유사한 형태로 그다지 큰 변화는 관찰되지 않았다.

Fig. 9(a)에서 열처리전의 C1220의 조직은 Fig. 9(b)와 비교해서 조직들의 배열이 불규칙함을 볼 수 있다. Fig. 9(b)단면에서 부분적인 압축영역, 즉 일부 영역에서 고르게 압연되지 못하고 일부만 심하게 압축된 영역이 관찰되므로, 이는 부분적인 금속소성유동의 불균일이 발생한 것으로 보인다.

#### 4.3 비저항

Fig. 10에 3종의 Cu합금의 최종열처리 처리온도에 따른 전기비저항 측정치의 변화를 나타내었다. 열처리에 의해서 CS210과 C1220의 비저항은 약간

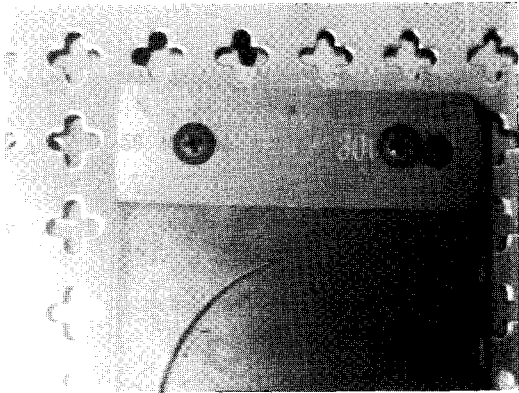
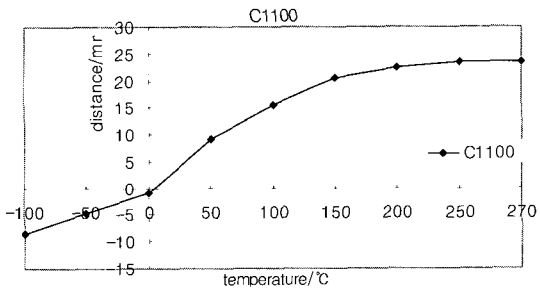
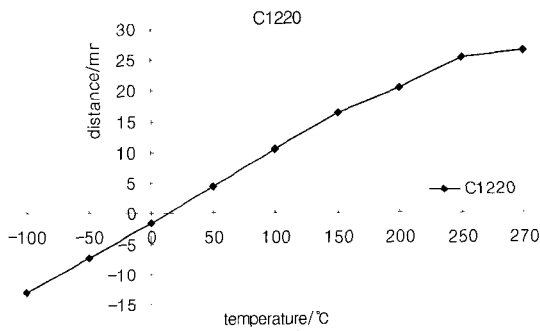


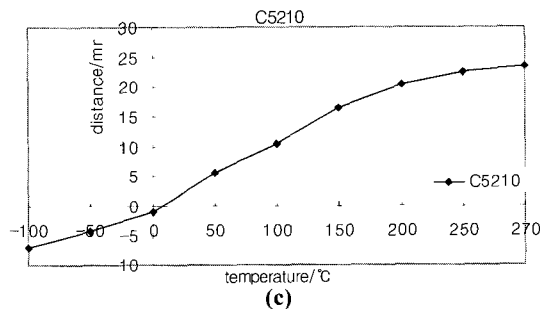
Fig.11 Example of deflected state of C1220/Invar36 clad material at 250 °C in oil bath



(a)



(b)



(c)

Fig.12 Deflection changes of Cu alloy/Invar36 clad materials with holding temperature

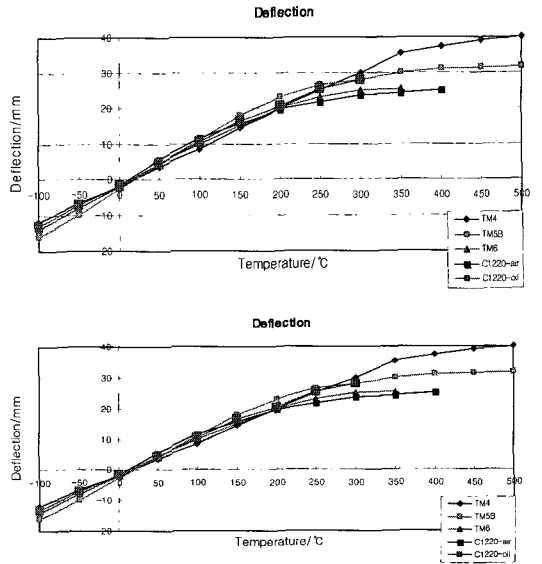


Fig.13 Comparison of deflection with C1220/Invar36 clad material and reference materials

감소하였으나, 열처리 온도의 증가에 따른 비저항의 변화는 관찰되지 않았다.

그리고, C5210의 비저항은 높은 값을 나타내었으며, 나머지 2종의 재료는 C5210의 약 1/5정도의 비저항을 보였다.

#### 4.4 휨을

Fig. 11에 250°C의 유욕로 내에서 C1220/Invar36 클래드재가 휘어진 상태를 나타내는 한 예를 보여 준다. 이 상태에서 측정하여 3종의 클래드 소재를 모두 측정할 결과를 Fig. 12에, 그중 가장 우수한 휨을 가진 소재와 전기용 바이메탈 KS 규격군[9]과의 비교를 Fig. 13에 나타내었다. Fig. 12(a)에 나타난 바와같이 C1100의 경우 150°C까지 선형적인 결과를 보이고 이후 급속히 휨율이 줄어들었다. 선형영역 내에서 20mm 정도의 휘어짐을 보였다.

C1220의 경우 Fig. 12(b)에 나타난 것처럼, Fig. 12(a) 및 (c)와는 달리 -100°C의 저온부에서 +250°C의 고온부에 이르기까지, 온도의 변화에 따라서 그 휘어진 변위는 직선적으로 변하며 25mm 정도의 휘어짐을 보여, 가장 적합한 휨 특성을 가지고 있음을 알 수 있다.

저온에서의 휨율 측정 결과 3종 모두 -100°C까지는 거의 선형적인 휨율을 보여주었으며 -100°C 이하의 온도에서는 에틸알콜의 용결로 확인하지

## 참 고 문 헌

못하였다.

Fig. 13에 나타낸 TM1~6은 저팽창축과 고폽창축의 합금 종류와 성분에 따른 분류를 기호화시킨 것이다.

Fig. 13에 나타낸 바와 같이 3종의 고온/저온시험의 특성을 전기용 바이메탈의 KS규격군과 비교한 결과, C1220/Invar36 클래드재가 가장 우수한 휨을 특성을 가지며 KS규격군과 대등한 결과를 나타내는 것을 알 수 있었다.

## 5. 결 론

압연 클래딩 공정을 이용하여 신 바이메탈재의 개발을 위한 연구를 행한 결과, 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 경도시험의 결과, 3종의 동계합금과 니켈합금을 각각 클래딩 후 열처리하여도 클래딩 전의 각각의 단일 소재의 경도를 유지 하였다.
- (2) C5210재의 비저항은 C1100과 C1220재의 것에 비해 약 5배의 높은 값을 나타내었다.
- (3) 경도시험과 금속현미경 관찰을 통해 최종 압연된 소재와 최종 압연 후 열처리한 소재와는 특성치에 별다른 차이가 없는 것으로 나타났다.
- (4) 열처리한 C1220재와 Invar36재의 접합계면에서 Cu와 Ni원소의 상호확산이 관찰되었다.
- (5) 휨을 시험을 통해 3종의 클래드재 중에서 C1220이 바이메탈 소재로 가장 우수한 특성을 나타내었다.

## 후 기

본 연구는 2006년도 중소기업청 산학연 공동기술 개발사업의 지원에 의해 수행 되었으며, 이에 감사드립니다.

- [1] O. Yilmaz, H. Celik, 2003, Electrical and thermal properties of the interface at diffusion-bonded and soldered 304 stainless steel and copper bimetal, Int. J. Mater. Proc. Tech. Vol. 141, pp. 67~76.
- [2] M. Abbasi, A. Karimi Taheri, M. T. Salehi, 2001, Growth rate of intermetallic compounds in Al/Cu bimetal produced by cold roll welding process, Int. J. Alloys and Compounds 319, pp. 233~241.
- [3] J. T. Choi, H. T. Chung, Y. G. Lee, M. J. Ha, 2001, Microstructural Analysis of Fe-36Ni Invar Alloy Sheets Produced by Twin-Roll Strip Casting Process, RIST Research Paper, Vol. 15, pp. 407~415.
- [4] Y. Yamamura and T. Fukuda, 2001-3, Manufacturing and Bonding strength properties of Roll clad steel, J. JSTP Vol. 42, pp. 206~210.
- [5] K.Y. Rhee, W.Y. Han, H.J. Park and S.S. Kim, 2004, Fabrication of aluminum/copper clad composite using hot hydrostatic extrusion process and its material characteristics, Mater. Sci. and Eng. A Vol. 384, pp. 70~76.
- [6] K. Raghunandan, 2003, Analysis of the explosive cladding of cu-low carbon steel plates, J. Mater. Proc. Tech. Vol. 139, pp. 573~577.
- [7] D. S. Bae, S. K. Kim, S. P. Lee, Tamaki shibayama, D. H. Bae, 2007, Interface Properties of Copper /Aluminum/Stainless Steel Clad Materials, Key Engineering Materials Vol. 345-346, pp. 1497~1500.
- [8] William F. Smith, 2003, Structure and Properties of Engineering Alloys 2<sup>nd</sup> ed., Mcgraw-Hill Press, pp. 267~269.
- [9] Korea Standard Information Center, 2006, Thermostat Metal Sheets for Electric Apparatus, KSC2610.