

압연공정을 이용한 가전용 신 바이메탈재의 개발

박상순¹, 배동수², 배동현³

Development of new bimetal material for home appliances by using the rolling process

S. S. Park, D. S. Bae, D. H. Bae

Abstract

The most demanded bimetal in home appliances are manufactured by mainly cladding process and these are mainly consist of Cu alloy and Ni alloy. But it is very difficult to clad these alloys, because the brittle Cu_2O oxide film formed easily on Cu alloy surface during cladding process. Clad rolling and heat treatment processes were applied for the development of bimetal by using the Ni alloy and the 3 types of Cu alloys.

Optical microstructure was observed and micro-hardness, specific resistance, deflection were measured from the manufactured new bimetal specimens

Key Words : bimetal, cladding, microstructure, hardness, specific resistance, deflection

1. 서론

클래딩(Cladding)은 금속소재의 표면 위에 내식성과 같은 특성이 다른 금속 재료를 압연이나 다른 수단으로 가압하여 접합하는 공정으로써, 한 요소에 2종이상의 다른 특성을 요구하는 분야에 사용되는 금속복합소재로의 제조방법으로 이용되고 있다.

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. 주요 용도는 TV, 에어컨, 세탁기, 전자레인지, 전기 다리미, 라디오 카세트, DVD플레이어, 냉장고 등의 가정용 가전제품과 자동차 부품을 포함한 산업용 전자장비 등이 있다.

현재 국내에서 사용되고 있는 바이메탈(Cu합금/Ni합금)재는 일본의 sumitomo금속과 미국의 AMETEK사에서 주로 생산하고 있는 소재로서 연간 수입액이 약 3,000억 원에 이르고 있어 국산화가 요구되고 있다. 그러나, 바이메탈의 제조 공정 중에 그 구성재료인 Cu합금의 표면에는 취성의 Cu_2O 산화피막이 형성되기 쉬워 클래드재의 계면 접합특성에 나쁜 영향을 미치므로, 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 기존 부품수요 및 신규 수요를 창출함은 물론이고, 작은 전류의 흐름에도 바이메탈의 휨 정도가 정확하고 우수한 가전용 신 바이메탈을 압연 클래딩 공정을 이용하여 개발하는데 목적을 두었다.

1. 동의대학교 대학원 신소재공학과

2. 동의대학교 신소재공학과

3. ㈜한국 클래드텍(KCT)

2. 제조공정

제조공정은 Figure 1에 나타낸 순서와 같이 Cu 합금/Ni 합금을 1차 압연하여 접합시키고 곧바로 응력제거 소둔 처리를 행한 후 최종 두께로 압연 후 열처리를 행하였다.

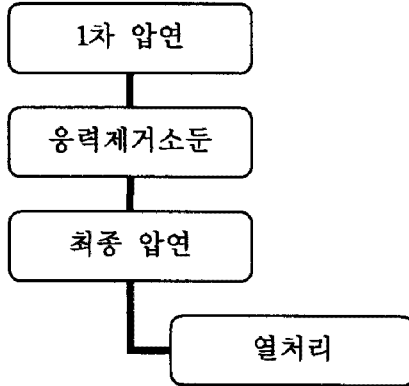


Fig. 1 Manufacturing process

3. 실험방법

본 연구에서 사용된 시험편은 동계합금(C1100, C1220, C5210)과 INVAR36으로서 화학적 조성과 기계적 성질을 Table 1~Table 4에 나타내었다.

시험편의 선정은 sumitomo사의 소재를 자체 분석한 후 이루어졌고 3종의 동계합금과 INVAR36을 각각 클래딩하여 C1100/INVAR36, C1220/INVAR36, C5210/INVAR36의 기준시험편을 비교 분석 하였다.

Table 1 Chemical composition of Cu alloy

Sheet	Chemical composition(%)
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 Mechanical properties 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

3.1 미소경도시험

미소경도시험은 제조공정에서의 1차 압연 이후, 열처리 이후, 최종 압연 이후, deflection test 이후 총4회에 걸쳐 이루어졌다. 이 시험에는 마이크로 비커스 경도기가 사용되었고(100g·15sec) 12타점 측정 후 max, min을 제외한 평균값으로 산출하였다.

3.2 금속현미경 관찰

금속 현미경을 이용한 미세조직 관찰은 압연에 의한 접합계면과 열처리에 따른 결정입자의 형상을 관찰하기 위해 실시하였다. 판재를 적당한 크기로 절단하여 cold mounting하고 연마하였으며 Cu계열은 ferric chloride, Invar36은 Nital액을 이용하여 etching 처리하였다.

3.3 비저항 측정

비저항 측정을 위해 Fig. 2의 기준 시험편을 제작하였다. 시험편의 폭이 넓어지게 되면 전류의 손실이 발생하게 되므로 2mm의 폭으로 통일하였다. 조건은 100mA, 3exponent, 전압의 +와 -간극은 1.5cm로 균일하게 유지하며 저항을 측정하여 비저항으로 환산하였다.

Table 3 Chemical composition of Invar 36

Sheet	Chemical composition(%)
Invar 36	Fe: Bal. Ni: 36

Table 4 Mechanical properties of Invar 36

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

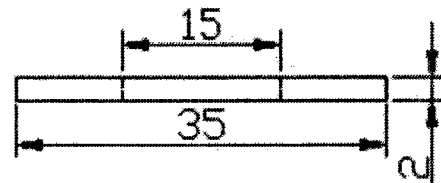


Fig. 2 Specific resistance test specimens(unit:mm)

3.4 휨을 시험

본 연구에서는 deflection test를 위해 Fig. 3의 시편과 Fig.4, 5의 장비를 제작하였다.

측정영역은 상온 이상의 범위로 100℃간격으로 400℃까지 측정하였다. 측정 이전에 잔류응력제거 처리를 실시하였고 3종의 시편을 각각의 온도에서 30분간 유지하면서 측정 시 온도 변화를 최소한으로 하기 위해 시편을 furnace 내에 두고 카메라로 잡사하여 고정시켜둔 stainless 눈금자로 측정하였다. 또한 바이메탈 소재 선정에 결정적인 factor이므로 3종 모두 400℃의 측정 이후 상온으로 꺼내어 즉시 동영상을 촬영하여 회복의 정도와 걸리는 시간을 알아보았다.

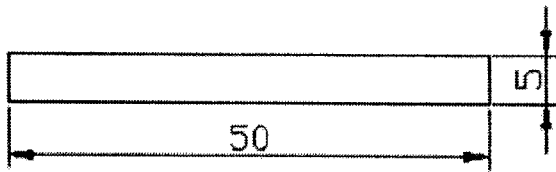


Fig. 3 Deflection test specimens
(unit : mm, thickness : 0.2)

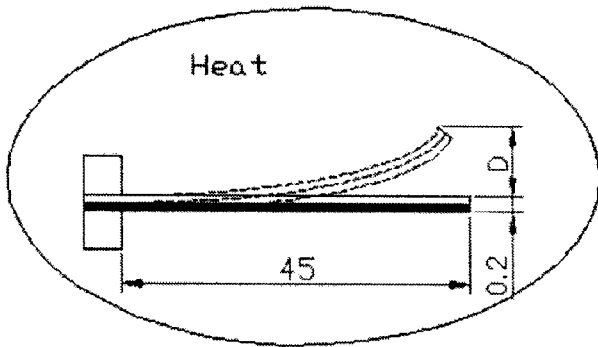


Fig. 4 Deflection test equipment(Heating)

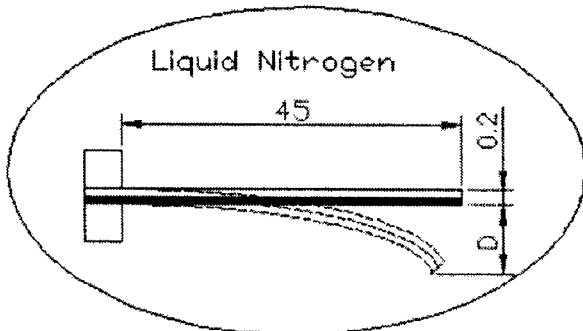


Fig. 5 Deflection test equipment(Cooling)

4. 실험결과 및 고찰

4.1 경도시험

1차 압연 이후 측정한 경도에서는 C5210을 제외하고 모두 초기 경도와 비슷한 경향을 보였다.

C5210의 경우는 경도가 250Hv까지 상승해 있는 것을 Fig. 6을 통해 알 수 있다. 이는 압연을 통해 GP정대와 준안정으로 ϵ' 인한 증가로 보여진다. 열처리 이후 동계합금 3종과 Invar36의 clad재의 경도를 측정한 결과 동계합금의 경우 400~800℃영역에 걸쳐 이후 압연에 있어 양호한 경도 영역을 보였으나 Invar36의 경우 700~800℃영역에서 200Hv이하로 경도가 감소하였다.

Fig. 7은 C1220 / Invar36 clad를 최종 압연한 다음 응력제거 열처리를 한 후의 경도를 측정한 결과를 나타낸다.

이는 최종 패스의 압연 제품과 그 단계에서 열을 받아 실제로 사용된 조건과 비슷해진 제품 사이의 경도 차이를 분석해 보기 위한 것이었다. 만약 차이가 있다면 그 차이가 이후 실제 소재에서 어떤 영향을 미치는지 접근 가능하기 때문이다.

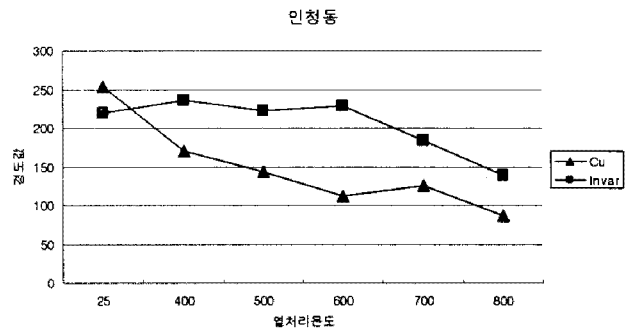


Fig. 6 Hardness of C5210 / Invar36 clad

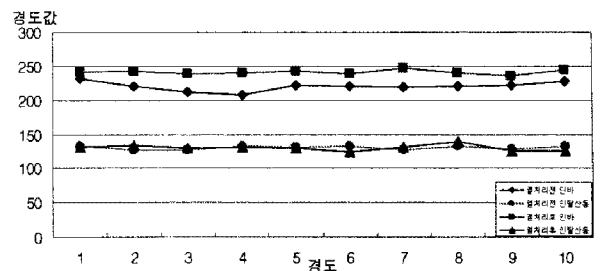


Fig. 7 Hardness of heat treatment(before / after)

Fig. 7에서 보는 바와 같이 C1220의 경우는 열처리 전이나 후나 경도는 거의 일치한다. Invar 합금의 경우에도 220과 240Hv로 약간 경도가 오르는 것은 있었으나 기준시편의 허용범위 내의 수치로 판단된다.

4.2 금속현미경 조직 비교분석

본 연구에서 금속현미경 조직을 관찰하는 이유는 성질이 다른 두 종류의 합금의 접합이 잘 이루어졌는지 확인하는데 일차적인 목표가 있다. 먼저, 금속 현미경으로 관찰한 결과, 여기에 나타내지는 않았으나 접합 계면은 매우 양호하다고 할 수 있었다. 물론 이후 line profile을 통해 보다 정밀한 측정이 필요하다.

금속현미경 조직의 비교는 경도시험에서도 측정했던 최종 압연과 그 소재를 열처리한 소재를 택했는데 두 조직을 Fig. 8, 9에서 나타내었다.

Fig. 8(a)는 C1220 / Invar36 간의 clad재 중에서 Invar36의 조직을 찍은 것인데 입계 자체가 거의 파괴되어 있다. Fig. 8(b)는 열처리를 행한 후 촬영한 조직이다. 그다지 큰 변화는 관찰되지 않았고 Fig. 8(a)와 유사한 형태를 띤다.

Fig. 9(a)는 C1220 / Invar36 간의 clad재의 반대쪽 면, 즉 C1220이다. 열처리 한 것과 열처리 하지 않은 것으로 분류해 놓았는데 Fig. 9(a)의 결정립들을 보면 Fig. 9(b)와 비교해서 조직들의 배열이 불규칙함을 볼 수 있다. 가장 중요한 점은 Fig. 9(b)단면에서 부분적인 압축영역, 즉 일부 영역에서 고르게 압연되지 못하고 두께영역에서 일부만 심하게 압축된 영역이 관찰되었는데, 이는 제조 공정의 검토가 필요한 것으로 판단된다.

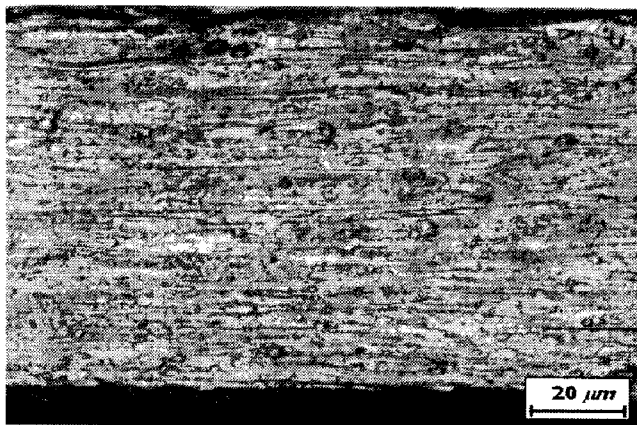


Fig. 8(a)C1220 / Invar36 clad – Invar36 (x 500)

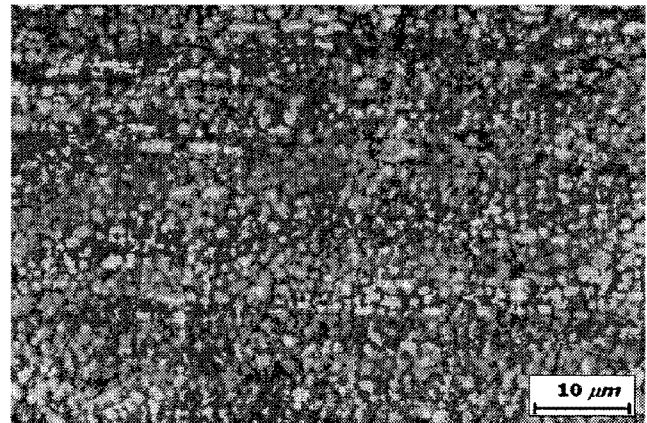


Fig. 9(a)C1220 / Invar36 clad – C1220 (x 1000)

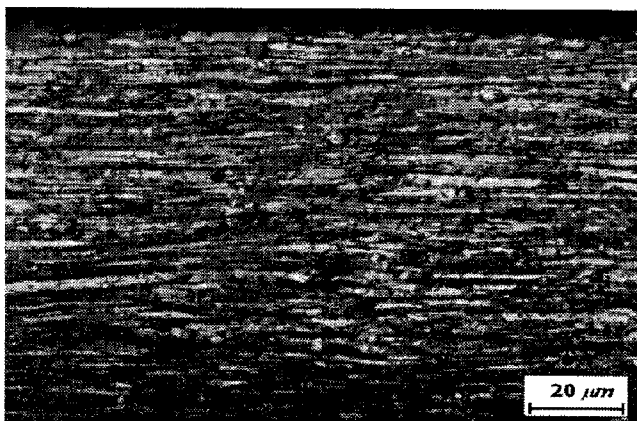


Fig. 8(b)C1220 / Invar36 clad – Invar36 (x 500)
-Heat treatment

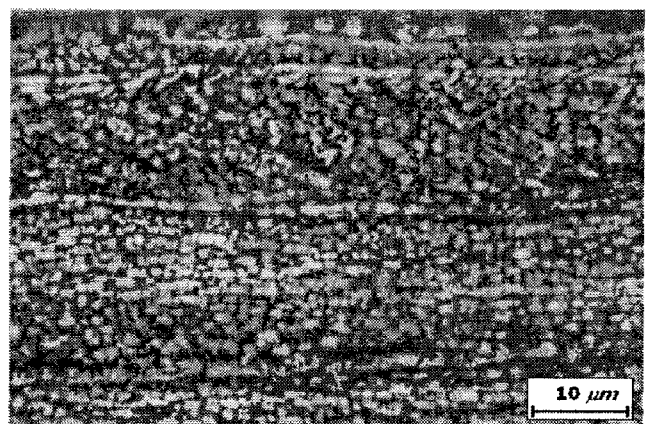


Fig. 9(b)C1220 / Invar36 clad – C1220 (x 1000)
-Heat treatment

4.3 비저항 측정

비저항 측정은 한국 전기 연구원에서 시행한 저항 측정 이후 비저항으로 전환하였다. 아세톤과 에틸 알코올을 이용하여 표면을 충분히 세척한 후 조건 하나당 2~3회씩 반복 실험하여 시험 오차를 줄였다. 그에 대한 데이터를 Fig. 10에 나타내었다.

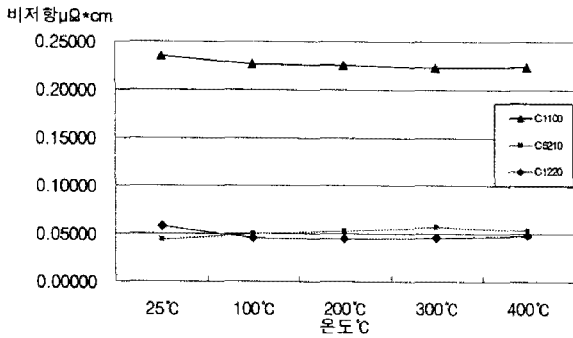


Fig. 10 Specific resistance

비저항은 C1100이 유난히 높게 나왔고 나머지 2종의 재료는 C1100의 약 1/5정도의 비저항을 보였다.

4.4 힘을 시험

3종의 clad 소재를 모두 측정한 결과를 Fig. 11~13에 나타내었다. Fig. 11의 C5210의 경우, deflection이 완만히 일어나며 비교적 천천히 휘어졌다가 천천히 회복되는 것을 볼 수 있었다. 경사가 완만하긴 하지만 균일하진 못하므로 바이메탈의 소재로서는 적절하지 않음을 알 수 있다.

힘을 온도와 온도의 그래프가 선형을 이루는 구간이 실제 바이메탈의 운용구간이 되기 때문에 이 영역 내에서 빠르게 굽혀지고 퍼지면서도 원형을 최대한 유지해야 한다.

Fig. 12에 C1100의 경우를 나타내는데, 가장 높은 온도 영역까지 균일한 힘을 보이고 있다.

그러나, 휘었다가 퍼지는 복원과정에서 본래 위치를 벗어나 -영역으로 내려가는 특이한 현상을 나타내고 있었다.

Fig. 13은 C1220의 경우를 나타내는데, 200°C 이상의 영역까지 선형구간을 유지하고, 힘 후에 회복되는 속도도 가장 빠르며 수차례 반복 실험에도 원형을 유지하고 있었다.

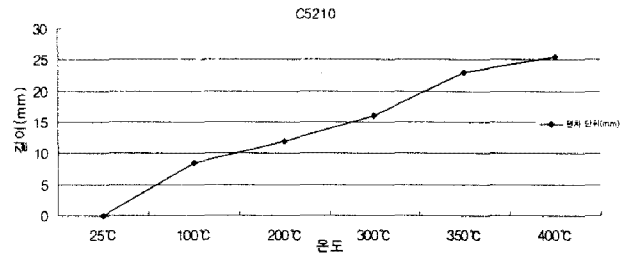


Fig. 11 Deflection of C5210 / Invar36

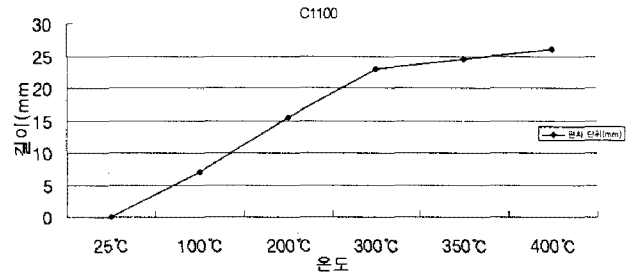


Fig. 12 Deflection of C1100 / Invar36

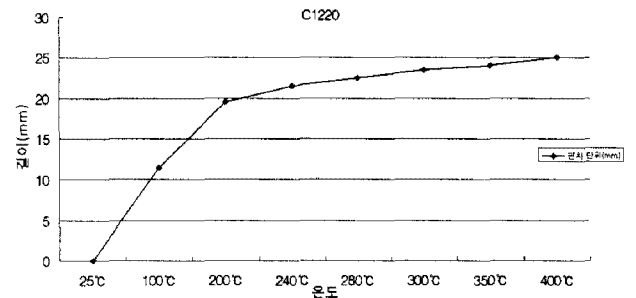


Fig. 13 Deflection of C1220 / Invar36

5. 결론

(1) 경도시험의 결과로 3종의 동계합금과 니켈 합금을 각각 cladding해도 클래딩 전의 각각의 단일 소재의 경도를 유지 하였다.

(2) C1100재의 비저항은 C5210과 C1220재의 것에 비해 약 5배의 높은 값을 나타내었다.

(3) 경도시험과 미세조직관찰을 통해 최종 압연된 소재와 최종 압연 후 열처리한 소재와는 특성치에 별다른 차이가 없는 것으로 나타났다.

(4) 힘을 시험을 통해 3종의 clad재 중에서 C1220이 바이메탈 소재로 가장 우수한 특성을 지닌다고 생각된다.