

직접압출에 의한 Cu-Al 층상 복합재료 봉의 계면접합

김희남(명지대 기계공학과), 윤여권*, 강원영, 박성훈(명지대 대학원 기계공학과)
이승평(유한대 금형설계과)

Interface Bonding of Copper Clad Aluminum Rods by the Direct Extrusion

H. N. Kim(Mech. Eng. Dept., MJU), Y. K. Yun, W. Y. Kang, S. H. Park(Mech. Eng. Dept., MJU)
S. P. Lee(Die&Mold Design Dept., Yuhan College)

ABSTRACT

Composite material consists of more than two materials and make various kinds of composite materials by combining different single materials. Copper clad aluminum composite material is composed of Al and Cu, and it has already been put to practical use in Europe because of its economic benefits.

This paper presents the interface bonding according to the variation of extrusion ratio and semi-angle die by observing the interface between Cu and Al using metal microscope. By that result, we can predict the conditions of the interface bonding according to the extruding conditions.

Key Words : Copper clad aluminum composite material (Cu-Al 층상 복합재료), Interface bonding (계면접합), Extrusion ratio (압출비), Semi-angle of die (다이반각)

1. 서론

현대 과학기술의 발전으로 압출에 의해 생산되는 제품의 용도와 기능도 다양해지고 있으며, 요구되는 기계적, 물리적 성질 또한 단일재료의 압출로는 얻을 수 없는 성능을 요구하고 있는 실정이다.

특히 기계와 화학, 핵 공업분야 뿐만 아니라 일상적으로 사용되는 생활용품에 이르기까지 단일재의 압출만으로는 요구되는 기능을 만족할 수 없게 되었다. 층상 복합재료는 단일금속재가 가지고 있는 기계적, 물리적 장점을 부각하고 단점을 상호보완하며 사용되는 재료에 따라 다양한 종류를 가지고 있다.

또한 층상 복합재료의 압출에서는 기계적 성질이 서로 다른 이종(異種)금속재료를 사용하여 압출하기 때문에 내재와 외재의 파괴없이 경계면 접합을 위한 압출조건과 방법이 단일재의 압출과는 차이가 있다.

Cu-Al 층상 복합재료 봉이란 Al을 내재로 만들고 외주를 Cu 슬리브로 둘러싼 형태로써, Cu가 Al의 바깥면에 층상으로 피복 되어 있으며, 그 경계면에서 압접으로 인하여 접합되어 있는 봉이다. 한편 Cu-Al 복합재료로 제작된 버스 바(bus-bar)는 기존의 동 버스 바(Cu bus-bar)에 비해 가격이 저렴하고 중량이 가벼운 특성을 가지고 있으며, 현재 유럽 등지에서

는 Cu-Al 층상 복합재료를 이용한 버스 바가 연구, 개발되어 각종 산업분야에서 활용되고 있다.

지금까지 복합재의 압출에 관한 연구로 J. J. Urcola⁽¹⁾등은 열간 압출에 의한 Steel과 Incoloy사이의 계면조건에 관한 연구를 하였으며, B. Lopez⁽²⁾등은 열간 압출에 의한 Steel과 Incoloy, Inconel, Hastelloy 사이의 계면에 대한 연구를 하였다. 또한 D. Y. Yang⁽³⁾ 등은 만곡된 다이를 통과하는 축 대칭 복합재료 봉의 상계해에 관한 연구를 하였으며, H. Tokuno⁽⁴⁾등은 납함금 코어와 Al 슬리브 복합재료 봉의 압출실험을 상계해를 이용하여 변형을 해석하였다. R. Sliwa⁽⁵⁾는 복합재의 압출시 변형영역에서의 소성유동상태의 변화를 연구하였으며, H. J. Park⁽⁶⁾등은 정수압 압출법을 이용하여 Cu-Al 층상 복합재료 튜브 압출에 관한 유한요소해석과 실험을 통해 압출비와 다이반각에 따른 계면접합 상태를 연구하였다.

그러나 대부분이 정수압 압출을 이용한 연구였으며, 직접압출법을 이용한 Cu-Al 층상 복합재료 봉 압출에 있어서 여러 가지 압출비에 걸쳐 다이반각의 변화에 따른 계면 상태에 대한 연구는 거의 없는 실정이며, 계면접합에 대한 기준조차도 없는 실정이다.

따라서 여러 가지 압출비와 다이 반각의 변화에 따라 생산된 압출품의 계면상태에 대한 고찰을 통하

여 계면접합조건을 찾는 것은 의미가 있다.

본 연구에서는 H. N. Kim^{(7),(8)} 등이 보다 경제적이고 용이하게 Cu-Al 층상 복합재료 붕을 압출하기 위하여 금형의 구조가 비교적 간단한 직접압출법을 이용하여 다이반각, 압출비 및 압출온도의 변화가 직접압출에 미치는 영향에 대하여 실험한 것을 바탕으로 압출비와 다이반각의 변화에 따른 경계면의 접합조건에 대하여 고찰하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 금형의 설계 및 제작

본 실험에 사용한 금형은 합금공구강(STD61)을 이용하여 제작하였으며, 압출도중 금형으로의 열 손실을 방지하고 압출온도를 일정하게 유지시키기 위하여 컨테이너 외주에 별도의 가열장치를 부착하였으며, 또한 금형온도를 일정온도로 제어할 수 있도록 온도 조절장치를 부착하였다. Fig. 1 은 실험에 사용된 금형의 사진이다.

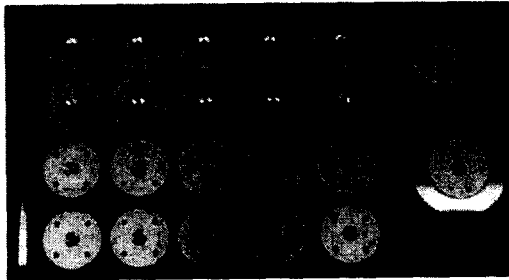


Fig. 1 Photograph of die set

2.2 빌렛의 설계 및 제작

Cu-Al 층상 복합재료 붕을 압출하기 위하여 Cu 를 외재(Sleeve)로 사용하여 선단을 각각의 다이반각과 같게 가공하고 안지름을 29mm, 바깥지름을 35 mm로 기계가공한 후, 알루미늄 합금(A6061)을 내재(Core)로 하여 선단을 각각의 다이반각으로 가공하여 바깥지름을 29mm로 기계가공한 후 탈유제(Trichloroethylene)를 사용하여 표면의 기름을 깨끗이 제거한 다음 외재와 끼워맞춤으로 복합 빌렛(Billet)을 제작하였다. Fig. 2는 위의 조건으로 설계·제작된 복합 빌렛의 형상과 사진이다.

2.3 압출실험

본 연구에서 사용한 압출기는 램(Ram)이 전진함에 따라 컨테이너 내부의 빌렛을 가압하여 압출이 진행되는 동안 램의 변위와 속도변화에 따른 압출하중의 변화를 정량적으로 측정할 수 있는 200 Ton 용

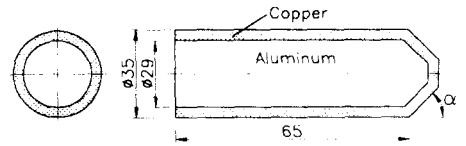


Fig. 2 Geometry and photograph of composite billets

Table 1 Extrusion conditions

Extrusion ratio	Semi-cone angle α (°)	Extrusion temperature (°C)	Ram speed (mm/sec)	Lubricant
2.78	35	300	0.8	Gate Oil C (Graphite+Paraffin)
4.24	45			
6.25	55			
8.50	55			
12.25	65			

량의 만능시험기(U.T.M.)를 사용하였으며, 전기로를 사용하여 빌렛을 압출온도까지 가열하였다. 또한 압출도중 빌렛의 온도를 일정하게 유지할 수 있도록 금형에 가열 및 온도조절 장치를 설치하였으며 빌렛과 컨테이너 사이의 마찰을 줄이기 위하여 윤활제(Gate Oil C)를 컨테이너 및 다이의 내면과 빌렛의 외면에 도포한 후 압출하였다.

Table 1에 본 실험의 압출조건을 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

Cu-Al 층상 복합재료의 압출에 있어서 Cu와 Al 사이의 계면 접합상태는 압출비와 다이반각 등 압출조건에 따라 변화되었다.

Fig. 3의 (a)~(d)는 복합 빌렛이 다이를 통과하는 동안 Cu와 Al의 금속조직이 변화되는 형태와 계면 접합 상태를 고찰하기 위하여 압출 도중에 제품을 채취하여 축 방향으로 1/2을 절단한 후 연마한 단면의 사진이다. 또한 각 압출조건에 따라 압출된 압출품의 계면접합 여부를 고찰하기 위해 모든 압출품을 축 방향과 원주방향으로 1/2을 절단한 후 연마하였으며, (e)와 (f)는 압출비12.25와 6.25로 압출된 제품의 단면 사진이다.

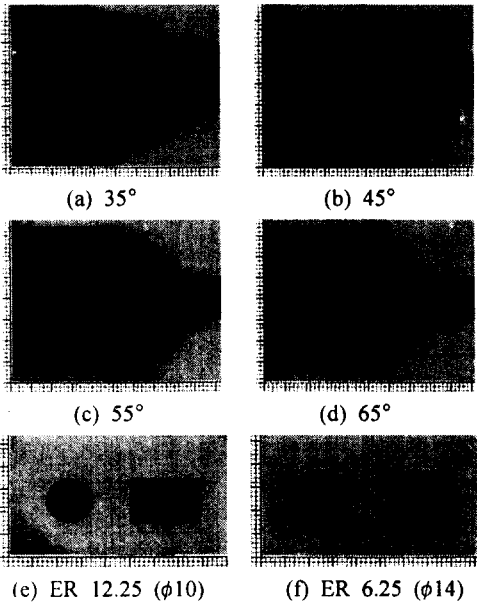


Fig. 3 Section of discards and extrusion product

Fig. 3의 (a)~(d)는 각각의 다이반각에 따라 빌렛이 다이입구의 소성변형 영역에서부터 압출이 진행되어 다이출구를 통과할 때까지 전면에 걸쳐 외재와 내재가 일정한 형태로 두께변화를 나타내면서 변형됨을 보여주며, 이는 압출다이 및 컨테이너와 빌렛 사이의 윤활이 잘 되었음을 나타낸다.

또한 Fig. 3의 (e), (f)와 같이 압출품의 전체 원주에 대하여 외재(Cu)와 내재(Al)의 반경비를 공구현미경을 이용하여 측정한 결과 반경비 차이가 2% 이하의 범위로 나타나므로 내재의 전체 원주 면에 외재가 균일한 두께로 피복 되었음을 알 수 있었다.

빌렛이 컨테이너 내부에서 변형영역 이전과 변형영역 그리고 다이출구를 통과한 압출품의 금속조직 변화와 경계면 접합 여부를 고찰하기 위하여 Fig. 3과 같이 마운팅(mounting)한 후 폴리싱(polishing)하여 현미경을 이용하여 관찰하였다.

Fig. 4의 (a)는 컨테이너 내부의 변형 전 빌렛의 조직사진으로서 Cu와 Al사이의 경계면이 잘 접합되지 않은 상태이며, Cu의 금속의 결정립이 거의 압축되지 않은 조직의 형태를 보여주고 있다.

Fig. 4의(b)는 압출비 8.50, 다이반각 45°의 변형영역에서의 금속조직 사진으로서 다이접촉면에서의 유동저항에 의하여 Cu와 Al이 압축력을 받아 Cu의 결정립이 변형방향으로 많이 압축되어 있으며, Al 경계면과의 접합이 진행되는 과정을 보여주고 있다.

Fig. 5의 (a), (b)는 압출비 8.50, 다이반각 45°의

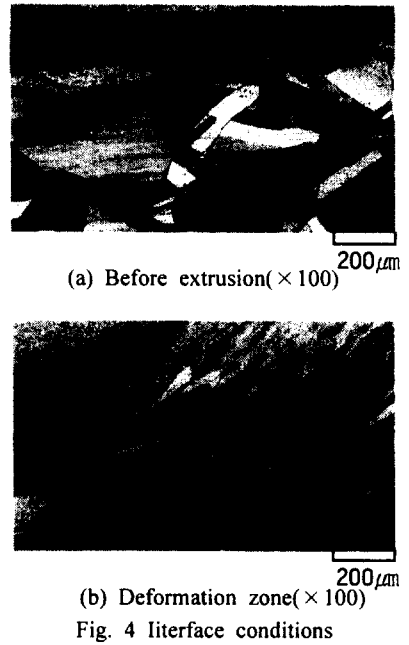


Fig. 4 Interface conditions

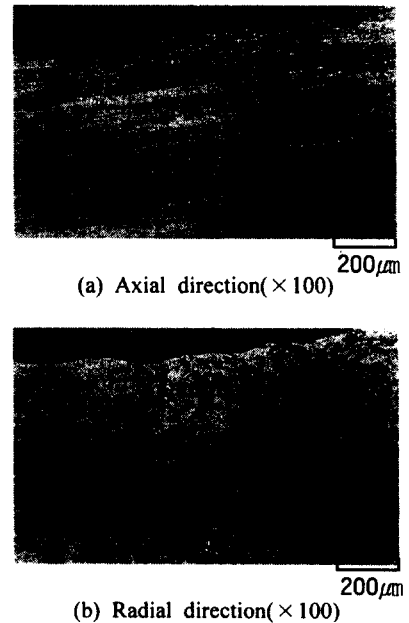
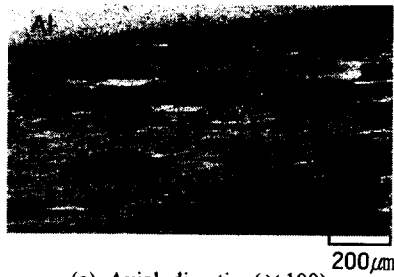


Fig. 5 Bonding interface condition after extrusion

조건에서 압출된 압출품의 축 방향과 원주 방향에서의 조직을 보여주고 있다.

Fig. 5에서와 같이 계면접합을 만족시키는 압출 조건에서 다이 출구를 통과한 압출품의 Cu와 Al의 경계면은 접합에 필요한 신생면 생성과 압축력을 받아 압접이 이루어졌음을 볼 수 있었으며, 또한 Cu 층의 결정립이 압출방향으로 길게 압축되어 있음을 알



(a) Axial direction($\times 100$)



(b) Radial direction($\times 100$)

Fig.6 Not bonding interface condition after extrusion

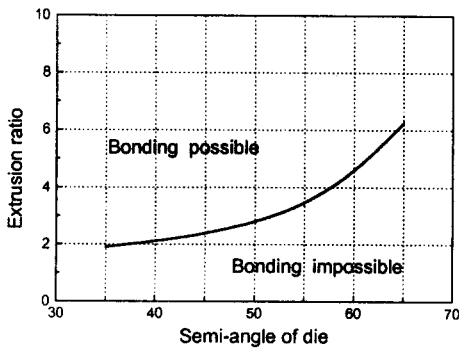


Fig. 7 Prediction of bonding possibility

수 있다.

Fig. 6은 압출비 2.78, 다이반각 65° 의 조건에서 압출된 압출품의 축 방향과 원주 방향의 조직사진으로서 작은 압출비에서 다이반각이 클 경우 다이의 변형영역 내에서 신생면이 계면접합에 필요한 만큼 생성되지 않고 압축력도 약하여 Cu와 Al 계면이 접합되지 않았음을 보여준다. 이와 같이 압출비에 따른 부적절한 다이반각과 압출조건은 계면접합 조건을 만족시키지 못하고 다이출구를 통과한 후에도 Cu와 Al 사이의 계면이 접합되지 않음을 알 수 있다.

압출조건의 변화에 따라 압출된 제품의 현미경 고찰을 통하여 압출비가 커질수록 다이 내의 변형영역에서 계면접합에 요구되는 신생 접합면 생성과 압축력을 충족하여 계면접합이 이루어지며, 압출비가 작을 때 다이반각이 어느 한계 이상이 되면 압출

필요한 경계면에서의 압축력과 접촉에 필요한 신생면 생성이 부족하여 계면접합이 완전하게 이루어지지 못함을 알 수 있었다.

위와 같은 실험과 고찰을 통하여 압출온도 300°C , 압출속도 0.8 mm/sec 의 조건에서 각 압출비와 다이반각의 변화에 따른 계면접합 가능성을 예측할 수 있는 그래프를 Fig. 7에 나타내었다.

4. 결론

직접압출법을 이용한 본 실험의 압출조건에 의해 압출된 Cu-Al 층상 복합재료 봉의 계면접합 조건을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 압출비가 4.24 이상일 때 다이반각이 비교적 큰 영역에서도 계면이 접합될 수 있으며, 압출비가 낮을수록 다이반각이 작은 영역이 계면접합에 유리하다.

2. 각 압출비에서 다이반각의 변화에 따라 계면접합이 가능한 조건을 예측할 수 있었다.

참고문헌

1. I. Gutierrez, J. J. Urcola, J. M. Bilbao, and L. M. Villar, "Bonding by hot extrusion of Incoloy 825 and Duplex 2205 to low alloy steel," *Materials Science and Technology*, Vol. 7, pp. 761-769, 1991.
2. B. Lopez, X. Gomez, J. Echeberria, I. Gutierrez and J. J. Urcola, "Interface Analysis on Diffusion Bonded Bimetallic Composites," *Key Engineering Materials*, Vols. 127-131, pp. 695-702, 1997.
3. D. Y. Yang, Y. G. Kim and C. M. Lee, "An Upper Bound Solution for Axisymmetric Extrusion of Composite Rods Through Curved Dies", *Int.J. Mach. Tools Manufact.*, Vol.31, pp.565-575, 1991.
4. H. Tokuno and K. Ikeda, "Analysis of deformation in extrusion of composite rods", *J. Materials Processing Technology*, Vol.26, pp.323-335, 1991.
5. R. Sliwa, "Plastic zones in the extrusion of metal composites", *Journal of Materials Processing Technology* Vol.67, pp.29-35, 1997.
6. H. J. Park, K. H. Na, N. S. Cho, Y. S. Lee and S. W. Kim, "A study of the hydrostatic extrusion of copper-clad aluminium tube", *Journal of Materials Processing Technology* Vol.67, pp.24-28, 1997.
7. 김희남, 윤여권, 강원영, 박성훈, "Cu-Al 층상 복합재료 봉의 직접압출에 관한 연구(I)", *한국정밀공학회 춘계 학술대회 논문집(I)*, pp.124-127, 2000.
8. 김희남, 윤여권, 강원영, 박성훈, "Cu-Al 층상 복합재료 봉의 직접압출에 관한 연구(II)", *한국정밀공학회 춘계 학술대회 논문집(I)*, pp.55-58, 2000.