

## Copper-clad Aluminium 복합재료의 정수압 압출시 다이 각이 미치는 효과

한운용\*(경희대 대학원 기계공학과), 박훈재, 윤덕재, 정하국, 김승수, 김응주(한국생산기술연구원), 이경엽(경희대 테크노 공학대학)

### Effect of Die Angle in the Hydrostatic Extrusion of Copper-clad Aluminium Composites

W. Y. Han(Mech. Eng. Dept., KHU), H. J. Park, D. J. Yoon, H. G. Jeong, S. S. Kim, E. Z. Kim(KITECH), K. Y. Rhee(College of Advanced Technology, KHU)

#### ABSTRACT

A copper-clad aluminium composite bar is lighter and less expensive than a commercial copper alloy bar. Copper-clad aluminium composite bar can be fabricated by hot hydrostatic extrusion process. In this work, the effect of die angle on the compressive properties of copper-clad aluminium composites fabricated using hydrostatic extrusion process was investigated experimentally. The results showed that optimum half die angle was in the range of 40° to 50° for an extrusion ratio of 19. The results also showed that the half die angle had little influence on the compressive strength of copper-clad aluminium composites. A diffusion layer increased with increasing die angle.

**Key Words** : Hydrostatic Extrusion(정수압 압출), Copper-clad Aluminium composite(Cu-clad Al 복합재료), Die Angle(다이 각), Half Die Angle(다이 반각), Extrusion Ratio(압출비)

#### 1. 서론

클래드는 복합재료의 일종으로 분류되며, 어떤 금속을 동종 또는 이종의 금속으로 그 전면에 걸쳐 피복하고, 서로의 경계면에서 금속 조직적으로 접하고 있는 것으로 정의된다[2]. 클래드는 성질이 다른 금속을 합쳐 단일 금속으로는 얻을 수 없는 새로운 기능이나 보다 고도의 성능을 발휘시킨 재료이다. 클래드 제품의 제조방법은 판재의 경우에는 압연법, 폭접법, 육성접합법, 확산접합법 등이 있으며, 봉재와 판재 또는 다심선재의 경우에는 압출법과 인발법으로 제조가 가능하다[2,6]. 본 연구에서의 Copper-clad Aluminium 복합재료는 압출법의 일종인 정수압 압출 공정으로 제조되었다. 정수압 압출 공정은 밀폐된 컨테이너 안에서 유체로 둘러싸인 소재가 유체의 압력이 임계점에 도달했을 때, 금형의 형상에 따라 봉재, 형재, 판재 및 복합재 등의 정상상태 압출과 고속 압출을 가능하게 한다. 정수압 압출 공정의 큰 특징은 압력 전달매체로 인해 소재와 용기내벽, 소재와 금형 사이의 마찰이 최소화되고, 압출소재는 정

수압 상태에서 압출되므로 금형내의 성형영역 외에는 좌굴이나 변형이 일어나지 않으며 비직선 또는 코일형의 소재도 직선 압출이 가능하다[3]. 이와 같은 장점을 이용해서 기술 선진국에서는 이종 재료인 초전도 선재나 부스바(Bus bar)등 일부 제품이 양산되고 있다.

국내에서는 아직 이종 재료간의 클래드 제품의 생산이 미비한 현실이다. 이것은 일반 압출법으로 클래드 복합재를 압출시 압출램이 압출 소재와 접촉해서 압출되어 이종 재료가 균일하게 성형되지 않기 때문이다. 따라서 일반 압출법으로는 이종 재료간의 압출이 불가능하다. 이에 반해 열간 정수압 압출은 온도의 영향과 유체로 둘러싸인 소재가 유체의 압력을 받으면서 압출되기 때문에 접합 특성에 좋은 영향을 미칠 것으로 사료된다.

본 연구에서는 열간 정수압 압출 공정을 이용하여 클래드 복합재료인 부스바(Bus bar)의 제조 가능성을 알아보기 위해 알루미늄의 봉재를 구리 튜브에 삽입해서 일정한 압출비로 다이 각을 변화 시켜가며 압출 실험을 수행 후 다이 각의 변화에 따른 압출 특

성, 접합특성과 압축강도의 변화를 연구하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 열간 정수압 압출

본 실험에서 사용된 압출기는 한국생산기술연구원에서 개발한 150tonf 성형하중을 갖는 열간 정수압 압출기로 Fig. 1에 보이는 것과 같이 bed, tie-bed, moving cross head, punch로 구성된다[1]. 압출기의 주요 사양은 Table 1에 정리 하였다.

압출 다이의 형상은 Fig. 2에서 보여주는 것과 같이 다이의 반각은 30°, 45°, 60°이다. 압력매체는 선형 저밀도 폴리에틸렌(LLDPE)을 사용하였고, 압출시편과 컨테이너의 온도는 320℃로 고정하였다.

열간 정수압 압출법을 이용한 이중 클래드 복합 재료(전체 단면적에서 구리가 차지하는 단면적이 16%)의 제조 공정은 Fig. 3과 같다. 클래딩시에 외경  $\Phi 35\text{mm}$ , 내경  $\Phi 32\text{mm}$ 의 구리(commercially pure) 튜브와 직경  $\Phi 32\text{mm}$ 의 알루미늄(1060)을 표면층의 산화물 제거뿐만 아니라, 두 재료간의 마찰력을 높혀 전단변위를 크게 작용시키기 위해 샌드페이퍼(표면 거칠기 100)로 구리 튜브 안쪽면과 알루미늄 봉체의 겉면을 brushing하였다. 또한 탈유(degreasing)를 위해 시약(tri-chloro-ethylene)으로 세척하였다.

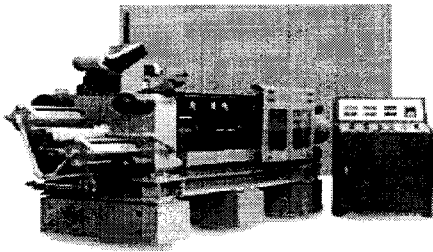


Fig. 1 Photograph of hot hydrostatic extruder

Table 1 Specification of hot hydrostatic extruder

Extrusion Force	150tonf
Max. Extrusion Pressure	12.0Kbar
Max. Punch Speed	22.5mm/sec
Max. Billet Diameter	35mm
Max. Billet Length	200mm
Container Heating Temperature	400℃
Hydraulic Power	40kW

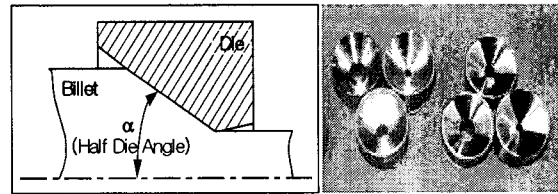


Fig. 2 Photograph of extrusion die

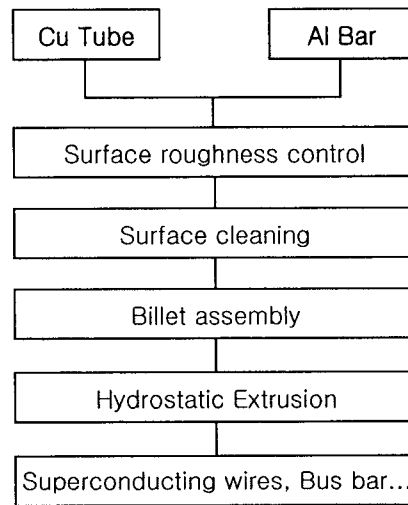


Fig. 3 Flow chart for copper-clad aluminium composite processing

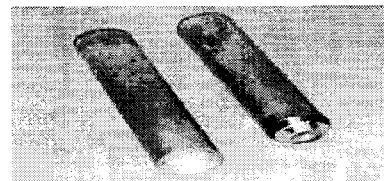


Fig. 4 Photograph of copper-clad aluminium composites before extrusion

압출 전의 클래딩된 시편은 Fig. 4에서 보여준다. 시편의 끝단은 정수압 압출 시에 구리 튜브와 알루미늄 봉체 사이로 압력매체가 스며들지 못하도록 밀폐하는 과정이 필요하다[3]. 소재 뒷부분은 플러그를 접합하였고, 앞부분은 다이의 원주부분에 소재가 밀착될 수 있도록 스피닝 성형으로 오프렛다. 스피닝된 시편은 압출초기 압력을 유지하기 위해 원추형상의 다이 각도와 동일하게 가공하였다.

### 2.2 물성 및 미세구조 평가

압출된 소재의 압축강도 변화를 측정하기 위하여 시험속도 1mm/min으로 압축시험을 수행하였다.

(Instron 8510) 압축시험 시편은 길이:직경 = 2:1 (ASTM E209)로 가공하였다.

Al/Cu 계면에서의 미세구조는 주사전자현미경 (FE-SEM. HITACHI S-4300)으로 관찰하였고, 화학조성 변화는 EDS 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 열간 정수압 압출

외경  $\Phi 35\text{mm}$ 로 클래딩된 시편을  $\alpha = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  인 세 개의 다이에 대해서 다이 직경  $\Phi 8\text{mm}$ 로 정수압 압출된 클래드 복합재료는 Fig. 5와 같다. 여기서 압출비는 19가 얻어진다.

Fig. 6는 Copper-clad Aluminium 복합재료의 압출비 19에서 압출 압력이 가장 낮은 최적의 다이 반각이  $40^\circ\text{-}50^\circ$ 범위에서 존재함을 보여준다. Fig. 7은 압출비 19로 다이 반각  $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ 에서 압출 압력을 나타내고 있다. 이러한 경향은 다이 각이 증가할수록 redundant work가 증가하는 반면에 frictional work가 줄어들기 때문이다[4,5,7]. 여기서 최대 압출 압력은 대략  $480\text{MPa}$ 이고, 최소 압출 압력은  $280\text{MPa}$ 이다. 약 42%의 압력 감소를 나타낸다.



Fig. 5 Photograph of extruded copper-clad aluminium composites for extrusion ratio of 19 and  $\alpha = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$

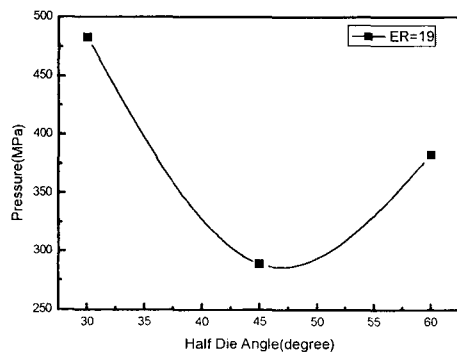


Fig. 6 Relationship between extrusion pressure and half die angle

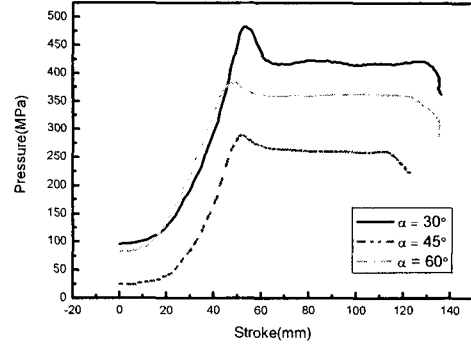


Fig. 7 Variation of extrusion pressure as a function of punch stroke for three die angles

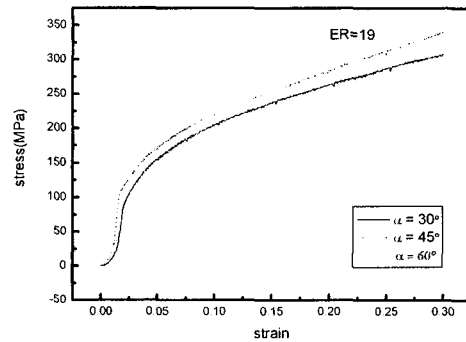


Fig. 8 Compressive stress-strain curves for copper-clad aluminium composites fabricated at ER=19 and  $\alpha = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ .

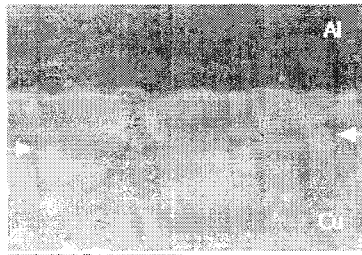
#### 3.2 압축 강도

압출비 19로 성형된 Copper-clad Aluminium 복합재료를 압축 시험한 결과는 Fig. 8과 같다. 항복강도는  $\alpha=30^\circ, 60^\circ$ 일 때  $94\text{MPa}$ 로 거의 비슷하며,  $\alpha=45^\circ$ 일 때  $105\text{MPa}$ 로 가장 크다는 것을 얻을 수 있었다.

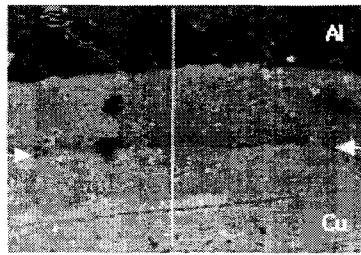
탄성한도 내에서의 기울기인 E값 또한  $30^\circ, 60^\circ$ 일 때  $8.4\text{GPa}$ ,  $45^\circ$ 일 때  $12\text{GPa}$ 로  $\alpha=45^\circ$ 일 때 압축 강도가 높다는 것을 확인할 수 있었다.

#### 3.3 계면 분석

Fig. 9는 압출비 19에서 다이 반각  $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ 로 정수압 압출한 Copper-clad Aluminium 복합재를 축방향으로 절단하여 FE-SEM으로 관찰하고, EDS분석한 사진이다. 구리와 알루미늄 각각의 함량은 계면(화살표)을 지나면서 감소하다가 짧은 구간에서 일정함을 유지함을 볼 수 있다. 이것은 구리와 알루미늄의 계면에 금속간 화합물이 생성되었으리라 예측할 수 있다.



(a)  $\alpha = 30^\circ$



(b)  $\alpha = 45^\circ$



(c)  $\alpha = 60^\circ$

Fig. 9 Diffusion layer and EDS analysis results for half die angle (a)  $30^\circ$ , (b)  $45^\circ$  and (c)  $60^\circ$

다이 각이 클수록 이 금속간 화합물 층은 넓으며, 이종 재료간의 접합이 잘 되었으리라 정성적으로 확인할 수 있다. 또한 계면을 중심으로 구리 안에서의 알루미늄의 확산 속도보다 알루미늄 안에서의 구리의 확산 속도가 빠름이 관찰되었다.

#### 4. 결론

이상의 실험결과와 고찰을 통하여 Copper-clad Aluminium 복합재료의 열간 정수압 압출시 다이 각이 미치는 영향에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 압출 압력이 실험에 적용한 다이 형상 중 다이 반각  $45^\circ$ 에서 가장 낮음이 관찰되었다. 이것으로 볼 때 본 실험조건에서의 최적의 다이 반각은  $40^\circ$ - $50^\circ$  범위에서 존재함을 예상할 수 있었다.

(2)  $30^\circ$ - $60^\circ$  범위의 다이 형상에서 다이 각의 변화에 따른 Copper-clad Aluminium 압출 복합재의 압축강도는 큰 변화가 없었으나 다이 반각  $45^\circ$ 에서 약간 높음이 관찰되었다.

(3) Copper-clad Aluminium의 축 방향 계면을 FE-SEM으로 관찰하고 EDS분석한 결과 다이 각이 증가할수록 확산층이 넓게 분포됨을 관찰하였다.

#### 참고문헌

1. 박훈재, 윤덕재, 나경환, 조남선, "정수압 압출기 개발," 한국소성가공학회 춘계학술대회 논문집, pp.44-49, 1993.
2. 박훈재, "이중복합재 정수압 압출의 접합조건에 관한 연구," 한국과학기술원 박사학위논문, 1993.
3. 윤덕재, 김응주, 임성주, 박훈재, 나경환, "열간 정수압 압출법을 이용한 Cu/Al다심 적층소재의 압출 연구," 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp.82-85, 2002.
4. KOZO OSAKADA and RYUZO ASADA, "COLD AND WARM HYDROSTATIC EXTRUSION OF FINE WIRE," Journal of Mechanical Working Technology, Vol. 1, pp. 277 - 290, 1978.
5. N.H.LOH and J.S.T. CHEUNG, "HYDROSTATIC EXTRUSION OF WIRES," Journal of Mechanical Working Technology, Vol. 19, pp. 45 - 54, 1989.
6. C.G. Kang, Y.J. Jung, H.C. Kwon, "Finite element simulation of die design for hot extrusion process of Al/Cu clad composite and its experimental investigation," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 124, pp. 49-56, 2002.
7. N. INOUE, M. NISHIHARA, "HYDROSTATIC EXTRUSION Theory and Applications," ELSEVIER APPLIED SCIENCE PUBLISHERS LONDON and NEW YORK, 1985.