

이중복합봉 정수압 압출시 접합면 거동에 관한 연구

박훈재, 나경환, 조남선, 이용신*

한국생산기술연구원 생산기반기술센터, *국민대학교 기계공학과

A Bonding Surface Behavior of Bi-metal Bar through Hydrostatic Extrusion

H.J. Park, K.H. Na, N.S. Cho and Y.S. Lee*

Korea Institute of Industrial Technology

*Kookmin University

ABSTRACT

The present study is concerned with the hydrostatic extrusion process of copper-clad aluminium bar to investigate the basic flow characteristics. Considering the bonding mechanism of bi-metal contact surface as cold pressure welding, the normal pressure and the contact surface expansion are selected as process parameters governing the bonding condition. The critical pressure required for the bonding at the interface is obtained by solving a "local extrusion" using a slip line method. A viscoplastic finite element method is used to analyze the steady state extrusion process. The boundary profile of bi-metal rod is predicted by tracking a particle path adjacent to interface surface. The variations of contact surface area and the normal pressure along the interface profile are predicted and compared to those by experiments.

Keyword : Copper-clad aluminum, Hydrostatic extrusion, Critical protrusion pressure

1. 서론

과학기술이 발전하고 산업이 고도화됨에 따라 고부가가치 제품의 수요가 증대되고 있고, 이를 충족시키기 위해서는 복합재, 고강도 합금강 및 특수 금속 등 새로운 소재의 개발이 요구된다. 이러한 요구를 어느 정도 만족시켜 줄 수 있는 클래드는 복합소재의 일종으로 분류되며, 어떤 금속을 동종 또는 이종의 금속으로 그 전면에 걸쳐 피복하고,

서로의 경계면에서 금속조직적으로 접하고 있는 것으로 정의된다. 경계면 접합에 근거한 축대칭이 중소재의 가공을 위한 보다 효과적인 방법으로 정수압을 이용한 압출 공법이 추천된다.

정수압 압출 공정중에 행해지는 두 금속간의 접합거동은 소성변형에 의한 고상접합에 분류되며, 소성일에 따른 발열을 무시한다면 냉간압접에 속한다^{1,3)}. 소성변형에 의한 접합은 접합면에서 새로운 면의 생성정도와 수직압력의 크기가 접합의 성패를 좌우하게 되며, 이는 소성가공공정의 여러 변

수들에 따라 결정된다. 본 연구에서는 구리와 알루미늄으로 조합된 이중복합소재를 정수압 압출공정으로 성형하여, 접합 경계면에서의 접합강도를 비롯한 압출재의 특성을 평가하고, 오일러리안 강소성 유한요소법을 이용해 변형특성, 특히 접합경계면에서의 유동이력을 분석하여 접합조건을 규명하고자 한다.

2. 이론해석

2.1 압출공정해석

본 연구에서는 경계면에서 접합을 토대로한 이중복합봉재의 정수압 압출공정의 오일러리안 유한요소해석을 위하여 가공소재의 변형경화성 점소성 변형은 상태변수모델로 묘사하였다. 소재의 소성유동과 압력분포는 상응벌칙유한요소법(Consistent penalty finite element method)으로 얻었다. 오일러리안 검사체적내에서의 상태변수변화는 유선적분법으로 예측한다. 이중소재 경계면거동을 예측하기 위해 경계면수정 알고리즘을 개발하였다. 예측된 경계면을 따라 변형이력을 추적하여 접촉표면의 확장정도와 접촉면압의 크기로부터 접합여부를 판단한다.

2.2 생성경계면의 밀착면압예측

변형중인 이중복합소재의 접촉면이 확장되고, 접촉면에서의 수직압력에 의해 새롭게 생성된 면의 근접하는 과정은 미시적인 관점에서 또 다른 소성 변형으로 간주될 수 있다. 이 과정에서 소성변형에 따른 접촉면상의 취성막이 접촉면의 변형경로에 따라 원주방향으로 균일하게 파괴된다고 가정하면, 이들 파괴면 사이에서 생성면의 압출은 평균적으로 컨테이너의 벽면마찰이 없는 평면압출(plane strain extrusion)공정으로 근사화할 수 있으며, 이때 파괴된 취성막들은 마찰이 매우 큰 금형역할을 한다. 본 연구에서는 경계면에서의 압출면압해석에서 정수압 압출공정중 경계면에서 새로운 표면의 생성정도를 정량화하기 위하여 표면생성비(contact surface area ratio)를 도입하고 간략히 표면비(surface ratio)라 칭한다. 표면비는 미소표면적에 대한 변형후와 변형전의 비율로 다음과 같이 나타낸다.

$$SR = \frac{S_f}{S_0} \quad (7)$$

여기서 S_0 는 변형전의 표면적, S_f 는 변형후의 표

면적을 나타내며, 이 표면비는 평면압출에서 면적 감소율과 역수관계이다.

평면압출에서 압출압력을 구하는 방법으로 본 연구에서는 해석적인 방법으로 비교적 용이하게 구할 수 있는 미끄럼선장법(slip line method)을 이용하였다. 경계면에서의 평면압출은 극히 변형량이 작은 미세변형으로 간주할 수 있으며, 이 미세압출 공정중의 가공경화정도는 무시하여 초기의 항복응력만을 고려한다. 이 항복응력은 경계면을 따른 유동응력이며 이 값들은 유한요소 해석과정에서 경계면을 따라 구한다.

3. 실험

정수압 압출실험은 생산기술연구원에서 실험연구용으로 개발한 1.5MN급의 수평식 정수압 압출기를 이용하였다. 본 압출기는 컨테이너의 수명과 안전성을 높이기 위해 특수하게 고안되었고, 이종으로 된 라이너의 외벽에 피아노 강선을 감아 보강하는 강선적층방식으로 설계·제작되었다. 본 압출기는 0~25mm/sec까지 램의 속도를 변화시킬 수 있으며, 램의 변위와 속도를 측정할 수 있는 LVDT와 압출하중을 측정할 수 있는 로드셀을 갖추고 있다.

압출시편은 안쪽의 심재로는 냉간에서 비교적 큰 압출비를 얻기 위해 연성과 전성이 우수한 알루미늄(commercially pure)과 바깥쪽의 클래드재로는 구리봉(OFE copper)을 사용하였으며 실험조건은 표 1과 같다. 복합재의 압출에서는 시편 제작시에 표면의 불순물들을 제거하는 표면처리공정이 매우 중요시된다. 또한 심재와 클래드재의 표면거칠기값이 비슷한 수준을 유지하도록 하여 압출공정시에 경계표면층의 균일한 파괴를 유도하였다. 그림 1에서 금형과 압출제품을 보여준다

4. 결과 및 고찰

접합면의 접합공정변수로 경계면에서의 표면비와 경계면 압출압력을 설정하였다. 신뢰할 수 있는 이들 공정변수들을 얻기 위해서는 우선 실제 정수압 압출공정과 유사한 변형유형으로 해석이 수행되어야 하므로, 해석의 타당성을 검토하기 위해 경계면의 유동경로를 비교하였다. 축대칭 압출시편은 NC밀링으로 중간면까지 정밀 가공하여 profile projector에서 축방향으로 1mm간격으로 측정하였다. 측정된 값을 경계면수정을 통해 얻은 이론해석

값과 비교한 결과 전체적으로 편차범위가 5% 이내에 있었으며, 다른 압출시편들의 변형경로도 유사한 경향을 보여주었다.

압출비와 압출금형의 원추각도에 대한 압출압력은 그림 2에 나타내었다. 일 회외의 정수압 압출공정시 압출압력의 변화는 공정초기에 최대값을 갖고 이후 정상상태로 진행되는 전형을 갖는다. 압출압력은 압출비가 커짐에 따라 증가하며, 일정한 압출비에서 압출압력을 최소로 하는 금형각도가 존재함을 볼 수 있다. 몇 종류의 압출비와 금형각에 대해 압출실험을 수행하여 해석값과 비교한 결과 10%이내에서 정량적으로 일치하였다.

그림 3은 압출비가 4.000, 금형반각이 30°에서 경계면의 위치를 초기시편의 외경을 기준으로 0.933, 0.867, 0.800 및 0.733에 두었을 때 경계면에서의 수직압력과 생성표면들간의 밀착에 소요되는 압출압력의 비를 유동경로를 따라 보여준다. 수직압력의 크기는 생성면의 임계압출압력에 미치지 못하며, 외재의 두께가 증가함에 따라 경계면에 작용하는 수직압력도 증가하는 경향을 나타낸다. 그 이유는 그림 4에서와 같이 경계면이 중심쪽에 위치할수록 변형경로의 전반부에 표면비가 커져 임계압출압이 작게 소요되는 것으로 볼 수 있다.

그림 5는 일정한 압출각과 외재두께에서 압출비에 따른 수직압력과 임계압출압력과의 비를 유동경로를 따라 보여준다. 압출비가 9.0 근처에서 작용하는 수직압력이 생성면의 임계압출압력보다 커져 생성면들사이에서 밀착이 시작됨을 알 수 있다.

그림 6에서는 압출비와 외재의 두께가 일정할 때 압출각에 따른 수직압력과 임계압출압력과의 비를 보여준다. 압출각이 커질수록 변형구간에서 작용압력이 임계압출압력보다 작게 되는 경향을 볼 수 있는데 이는 변형경로를 따른 표면비값은 거의 같은 값을 가지지만, 유동용력은 압출각이 커질수록 증가하여 이로 인해 임계압출압력이 증가한다고 볼 수 있다.

5. 결 론

구리-클래드 알루미늄 봉재의 제조를 위한 정수압 압출실험을 수행하고, 유한요소법을 이용한 이론해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 정수압 압출 실험결과 공정의 특성상 복합빌렛은 접촉면에서 속도차이를 갖지 않아 압출전의 빌렛단면비는 압출후에도 보전된다.
2. 경계면 수정 알고리즘으로 경계면에서 입자의

유동 경로를 예측하고 실험과 비교한 결과 정량적으로 일치함을 확인하였다.

3. 압출비의 변화에 따라 압출하중을 측정하여 소성이론해석 결과와 비교한 결과 서로 10% 이내로 근접하는 경향을 확인하였으며, 이것으로 이론해석의 유효성을 입증하였다.
4. 경계면에서의 접합변수를 수직압력과 표면비로 선정하였으며, 접합면에서의 임계압출압력을 도입하여 접합가능성을 판별하였다.
5. 압출비가 증가하면 경계면에서의 수직압력과 임계압출압력과의 차가 커지게 되는 것을 확인하였으며, 이 때의 압력차는 접합을 위한 순수한 수직압력으로 작용한다.
6. 접합면이 시편의 중심쪽으로 위치할수록 임계압출압력이 작아져 접합이 이루어질 확률은 커지며, 압출각이 커지면 반대현상으로 나타난다.

참고문헌

1. Bay, N. (1979), Journal of Engineering for Industry, Vol.101, 121-127.
2. Zhang, W., Bay, N. (1990), Final Report Danish Technical Research Council,
3. Zhang, W., Bay, N. (1992), Annals of the CIRP, Vol.41/1, 293-297.
4. Hart, E.W. (1975), Journal of Engineering Materials and Technology, vol 98, 193.
5. Lee, Y.S. and Dawson, P.R. (1989), ASME Journal of Applied Mechanics, Vol.111, 318.
6. Lee, Y.S. and Dawson, P.R. and Dewhurst, T.B. (1990), IJNME, Vol.30, p1403-1413.
7. Lawrence, E.M. (1969), Prentice-Hall, 154-170.

Table 1. Extrusion condition

시편 크기		금형 직경 (mm)	금형 반각 (°)	압출비	실험 온도
Cu	Al				
φ30×1.00t	φ28.0	20	22.5	2.250	
φ30×2.00t	φ26.0	15	30	3.114	
φ30×3.00t	φ24.0	10	40	4.000	상온
φ30×4.00t	φ22.0	8		6.250	
				9.000	

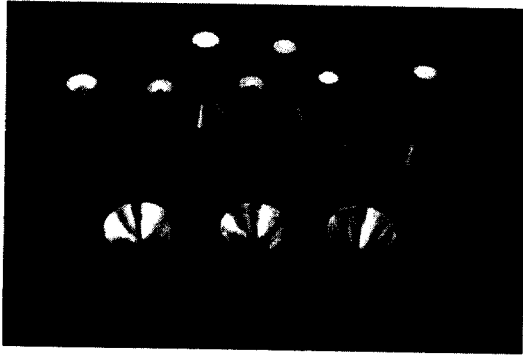


Fig. 1 Dies and extruded products

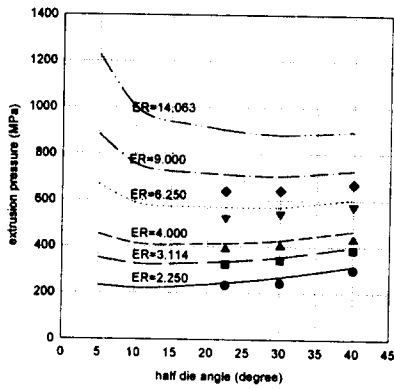


Fig. 2 Extrusion pressure

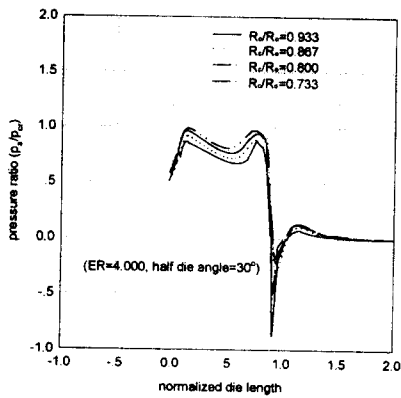


Fig. 3 Comparison of normal pressure and critical protrusion pressure

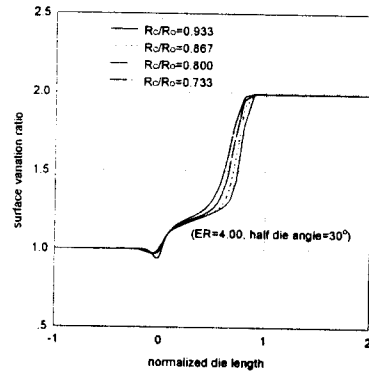


Fig. 4 Variations of surface ratio for different contact position

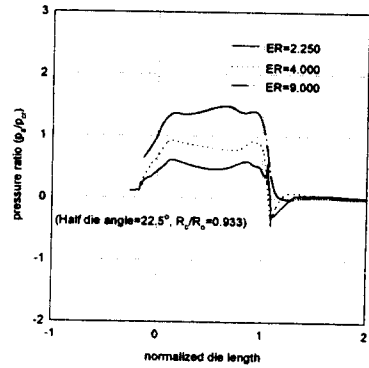


Fig. 5 Comparisons of normal pressure and critical protrusion pressure for some extrusion ratios

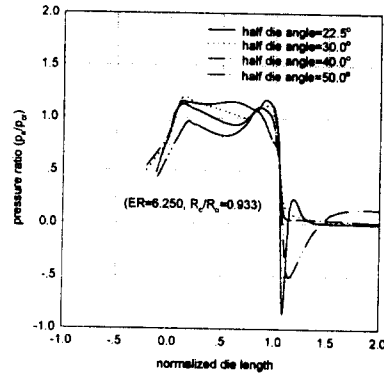


Fig. 6. Variation of critical protrusion pressure