

압력제어를 이용한 초소성 성형/확산접합의 공정설계

송재선¹, 강영길², 홍성석², 권용남³, 이정환³, 김용환[#]

Process design of superplastic forming/diffusion bonding by using pressure control

J. S. Song, K. Y. Kang, S. S. Hong, Y. N. Kwon, J. H. Lee, Y. H. Kim

Abstract

The superplastic forming (SPF) has been widely used in the automotive and aerospace industry because it has great advantages to produce very light and strong components. Finite element method (FEM) is used to model the process of superplastic forming/diffusion bonding (SPF/DB), to predict the pressure-time curve and to analyze the process parameter. In this study, process design of SPF/DB is carried out a 3-sheet sandwich part. SPF/DB process with pressure control was analyzed by using finite element method. For obtaining proper shape, step-by-step pressurization is proposed. The first step of SPD/DB process is obtained by applying of pressure in patches. From the next step it applied pressure to all regions (between inner sheets, between inner and face sheets). By using the proposed pressurization scheme, deficit in part shape is found to be eliminated.

Key Words: Superplastic forming/diffusion bonding (SPF/DB), Finite Element Method (FEM), Pressure control

1. 서론

초소성 성형은 일반적으로 특정조건에서 국부적인 단면 수축 없이 큰 인장 연신율을 보이는 특징을 가지는 재료에 가스압력을 가함으로써 복잡한 구조물을 단일 공정으로 제조할 수 있는 성형법을 말한다[1].

확산접합(diffusion bonding)은 접합하고자 하는 부분을 고온에서 외부에 압력을 가하여 양 표면을 접합시키는 공정이다. 이러한 초소성 성형법과 확산접합의 기술을 조합한 초소성 성형/확산접합은 더욱 복잡한 구조물을 일체형으로 성형할 수 있어 수많은 리벳에 의한 구조용 부품 등에 경제적 이익뿐만 아니라 생산 효율의 증대를 기대할

수 있다.

특정한 변형률 속도의 영역 내에서 나타나는 초소성 재료의 특성은 주로 Ti 합금과 Al 합금에서 나타나고, 성형공정은 최대 변형률 속도를 최적의 변형률 속도에 일치하도록 유지시키면서 이루어진다.

초소성 성형/확산접합의 성공적인 성형을 위하여 최적의 변형률 속도를 유지하기 위한 압력-시간 선도의 예측과 최종 형상의 두께분포의 예측은 매우 중요한 일이다. 기존의 실험적인 방법의 시행착오에 의한 많은 시간과 노력대신 유한요소법을 이용하여 최적의 변형률 속도를 유지할 수 있는 압력-시간 선도, 두께 분포 및 변형 중의 결합 등을 예측할 수 있다[2].

1. 충남대학교 대학원, BK21 메카트로닉스사업단

2. 국방과학연구소

3. 한국기계연구원

교신저자: 충남대학교, BK21 메카트로닉스사업단

E-mail: yonghkim@cnu.ac.kr

초소성 성형/확산접합은 여러 장의 판재를 접합 후 접합되지 않은 부분에 압력을 가하여 성형하기 때문에 내부 판재의 변형 또한 고려해야 하고, 내부 판재의 굽힘 없이 성형이 완료되어야 하기 때문에 성형에 어려움이 있다.

송재선[3] 등은 초소성 성형/확산접합의 여러 공정에 대하여 유한요소 해석을 수행하였으며, 접합된 초소성 재료의 내부에 전체적으로 압력을 가하는 경우 소재가 신장되어가는 정도 차이로 최종 변형형상에서 소재 접침의 결함과 압력을 받는 면적의 차이로 내부 판재 휨의 결함이 나타남을 예측하였다. 이러한 결함 없는 완벽한 성형을 위하여 소재의 두께 및 접합부의 크기 등 공정 변수들을 변화시키는 방법과[4] 압력을 가하는 절차를 다르게 하는 압력을 제어하는 방법이 있다.

이에 본 연구에서는 초소성 성형/확산접합의 완벽한 성형을 위하여 유한요소법을 이용한 공정해석을 수행하였다. 초기에 확산접합 된 후 압력을 가하는 방법으로 비접합부에 전체적으로 압력을 가하는 성형방법과 비접합부에 순차적으로 압력을 가하는 성형방법에 대하여 해석을 수행하였으며, 좀 더 빠른 성형시간의 성공적인 성형 조건을 찾고자 한다.

2. SPF/DB 공정해석

특정한 변형률 속도의 영역 내에서 나타나는 초소성 재료의 성형공정은 최대 변형률 속도를 최적의 변형률 속도 값에 일치하도록 유지시키면서 이루어진다. 본 연구에서는 Chandra[5]가 제안한 예측·수정 알고리즘을 이용한 압력제어 기법이 적용된 유한요소 프로그램을 사용하여 해석을 수행하였다.

2.1 전체적으로 가압한 경우 공정해석

해석에 사용된 재료는 Ti-6Al-4V ELI 소재로 접합된 3 장의 원형 판재에 대하여 1710 개의 축대칭 요소를 사용하여 해석을 수행하였다. 사용된 구성방정식은 식(1)과 같고, 성형공정 동안 변형률 속도를 일정하게 유지시키기 위한 최적의 변형률 속도 $\dot{\epsilon}_{opt} = 0.001/s$ 로 하였으며, 판재의 초기 두께는 각각 2 mm, 마찰계수는 0.3 으로 하였다[6].

$$\bar{\sigma} = 450 \dot{\epsilon}^{0.4} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

Fig. 1 과 같이 1 개의 가스 유입구와 내부의 유동 홀을 이용하여 비접합부의 내부에 전체적으로

압력을 가하면 변형이 이루어지고, 변형 형상은 확산접합이 되지 않은 상부 판이 비접합부에 비하여 빠르게 성형이 진행되어 금형에 접촉하기 시작한다. Fig. 2 는 시간에 따른 변형형상을 나타낸 것으로서 Fig. 2(c) 에서 보이는 것과 같이 최종 변형형상에서 판재가 겹치게 되는 결함과 내부 판재의 휨을 예측 할 수 있다.

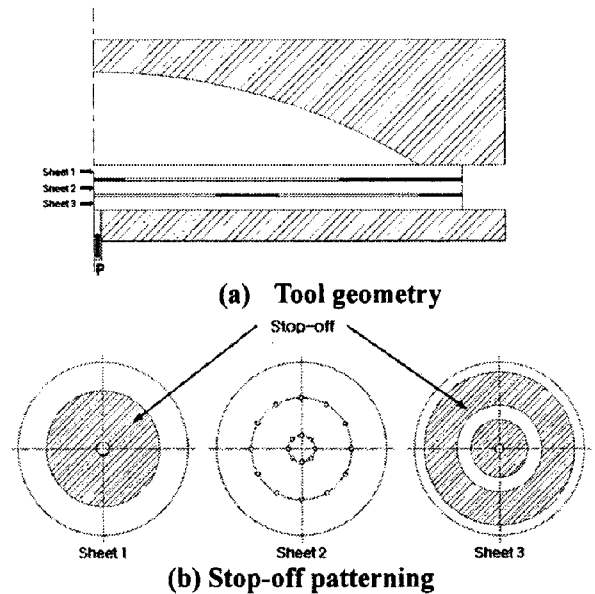


Fig. 1 Tool geometry and stop-off patterning

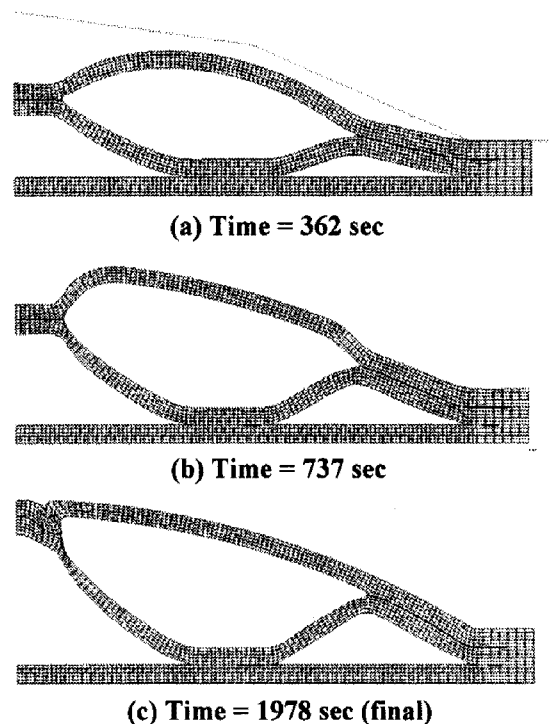


Fig. 2 Evolution of deformed shape at different times for 3-sheet forming

Fig. 3 은 시간에 따른 압력과 변형률 속도를 나타낸 것으로 심한 변형률 속도의 변화를 보이고 있고, Fig. 4 는 실험 결과[6]로서 해석결과와 같이 내부판재가 아래쪽으로 볼록하게 휨과 중앙부의 성형이 완료 되지 않았음을 볼 수 있다.

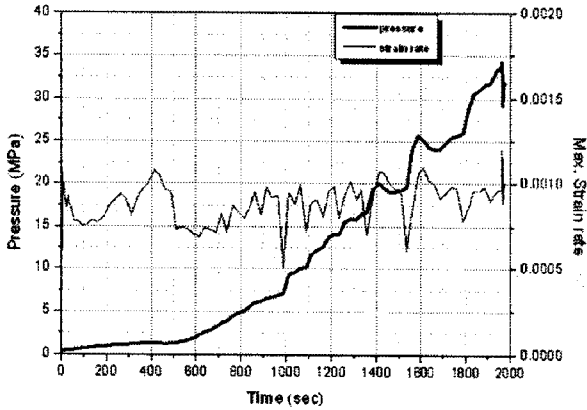


Fig. 3 Pressure and strain rate with time for 3-sheet forming

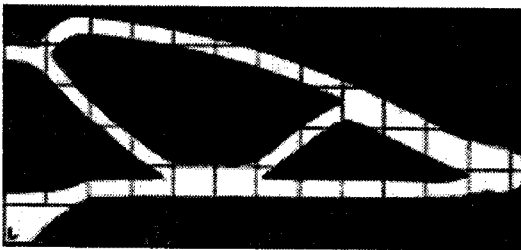


Fig. 4 Result of experimental [6]

2.2 순차적으로 가압한 경우 공정해석

비접합부에 전체적으로 압력을 가할 경우 Fig. 2(c)와 같이 최종 변형형상에서 판재 접침의 결함이 나타났으며, 이를 해결하는 방법으로는 일반적으로 상부 판재의 두께를 두껍게 하는 등 두께 비율을 조절하였다. 그러나 판재의 두께가 다를 경우 그에 따른 강도 및 비용 증가에 따른 문제 등을 감수 해야 한다.

전체적으로 압력을 가하였을 경우에 대한 해석 결과를 바탕으로 Fig. 5 와 같이 3 곳의 가스 유입구를 이용하여 1 차 압력을 가하는 시간에 대하여 검토 후 금형 높이의 1/2 정도 높이까지 올라오는 360 초의 시간부터 성형이 완벽하게 됨을 확인 하였다. 360 초의 시간 동안 P1 과 P3 의 유입구에 1 차 압력을 가한 후 P1, P2 그리고 P3 의 유입구에 2 차의 압력을 가하는 공정에 대하여 해석을 수행 하였다.

비접합부 전체에 압력을 가하는 경우 내부 판

재가 Fig. 2(a)와 같이 아래쪽으로 볼록하게 휘는 반면 P1 과 P3 에 1 차 압력을 가한 경우 Fig. 6(a)와 같이 내부 판재가 위쪽으로 볼록하게 휘게 된다. 또한 2 차 압력을 가하게 되면서 Fig. 6(b)와 같이 내부판재가 점차 펴지기 시작하고, Fig. 2(c)의 결함으로 야기되었던 판재의 접침은 Fig. 6(c)에서 보이듯이 결함 없이 성형이 완료 되었으며 내부 판재의 휨에 대해서도 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

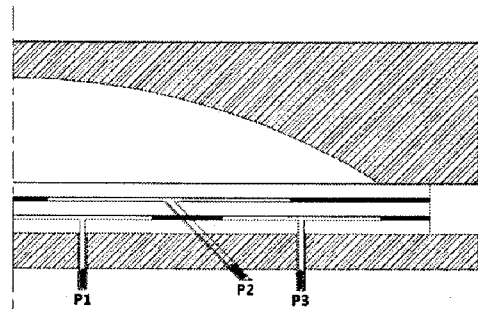


Fig. 5 Diffusion bonded sheet and tool geometry

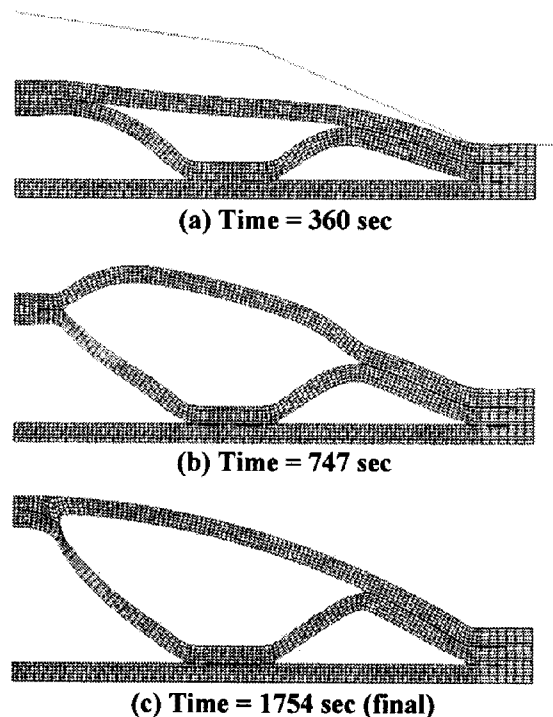


Fig. 6 Evolution of deformed shape at different times for 3-sheet forming

Fig. 7 은 시간에 따른 압력과 변형률 속도를 나타낸 것으로 1 차 압력을 가하는 동안 최적 변형률 속도를 잘 유지하고 있으며, 2 차 압력을 가하는 순간부터 심한 변형률 속도의 변화를 보이고 있다. 또한 비접합부에 전체적으로 압력을 가한

경우 보다 높은 압력과 빠른 성형 시간을 나타내고 있다.

Fig. 8 은 비접합부에 전체적으로 압력을 가한 경우(a)와 순차적으로 압력을 가한 경우(b)의 최종 변형형상을 비교한 것으로서, 전체적으로 압력을 가한 경우 상부 소재의 바깥 부분의 소재가 신장되는 정도가 내부 소재의 신장되는 것보다 빠르게 진행되어 최종 변형형상에서 겹침의 결함이 발생하는 반면 순차적으로 압력을 가하였을 때 상부 판재의 겹침과 내부 판재의 휨 현상이 해결됨을 알 수 있다.

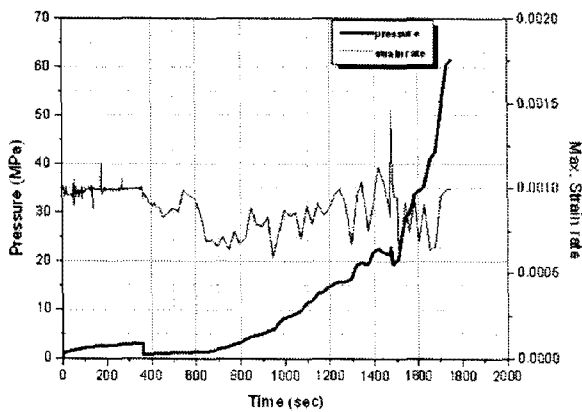


Fig. 7 Pressure and strain rate with time for 3-sheet forming

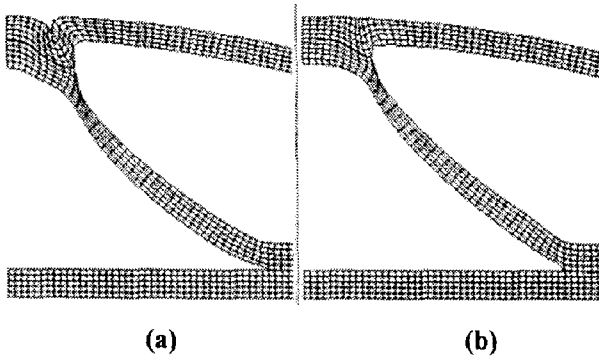


Fig. 8 Comparison of final shapes

3. 결론

초소성 성형/확산접합의 공정설계에 유한요소법을 이용하였다. 결함이 없는 성공적인 성형을 위해 1 개의 유입구와 유동 홀을 이용하여 비접합부에 전체적으로 압력을 가하는 방법과 3 개의 유입구를 이용하여 순차적으로 압력을 가하는 방법에 대해 해석을 수행하였으며 해석 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 1 개의 유입구와 유동홀을 이용하여 전체적

으로 압력을 가한 경우에 비해 3 개의 유입구를 이용하여 순차적으로 압력을 가한 경우에 빠른 성형시간과 좋은 성형성을 얻을 수 있었다.

- (2) 전체적으로 압력을 가하는 경우에 야기 될 수 있었던 최종 변형형상에서 겹침의 결함과 내부 판재의 휨에 대하여 순차적으로 압력을 가함으로써 문제를 해결 할 수 있었다.
- (3) 3 개의 유입구를 이용하여 순차적으로 압력을 가하는 방법은 향후 실험을 통하여 결과를 검증할 예정이다.

후 기

본 연구는 민군겸용기술개발사업의 과제로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Javier Bonet, Antonio Gil, Richard D. Wood, Rajab Said, Richard V. Curtis, 2006, Simulating superplastic forming, Computer Method in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 195, Issues 48-49, pp. 6580~6630.
- [2] 홍성석, 김용환, 1996, 초소성 성형/확산접합 공정의 유한요소해석, 한국소성가공학회지, 제 5 권, 제 1 호, pp. 37~46.
- [3] 송재선, 김용환, 홍성석, 강영길, 이정환, 권용남, 2006, 유한요소법을 이용한 초소성 성형/확산접합 공정해석, 한국소성가공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 265~268.
- [4] 송재선, 강영길, 홍성석, 권용남, 이정환, 김용환, 2007, 실험계획법을 이용한 초소성 성형/확산접합 공정설계, 한국소성가공학회지, 제 16 권, 제 2 호, pp. 144~149.
- [5] R. C. Ramma, N. Chandra and R. E. Goforth, 1993, Numerical modeling of 3D superplastic sheet forming processes, Advances in Superplasticity and Superplastic Forming, N. Chandra, H. Garmestani & R. E. Goforth eds., TMS, pp. 133~154.
- [6] Jong-Hoon Yoon, Ho-Sung Lee, Yeong-Moo Yi and Young-Soon Jang, 2007, Finite element analysis in superplastic blow forming of Ti-6Al-4V multi-sheet, Materials Science Forum, Vol. 546-549, pp. 1361~1366.