

열간 형단조 공정의 3차원 중간 금형 자동 설계에 관한 연구 (A Research on the Automatic 3-D Blocker Design of Closed Die Hot Forging)

황찬*(서울대 대학원) 오수익(서울대 기계설계학과)
C. Hwang(Graduate School Seoul Nat'l Univ.) S. I. Oh(Seoul Nat'l Univ.)

ABSTRACT : Proper design of blocker dies is one of the most important aspect of impression and closed-die forging to achieve adequate metal distribution. Determination of the blocker configuration is a very difficult task and is an art in itself, requiring skills achieved only by years of extensive experience. To save the cost and time of blocker design, many methods using computer were proposed. In this research, low pass filter method proposed by Oh etc. was applied to blocker die design of spoiler support, a part of aircraft and plasticine model experiment of closed die forging of spoiler support was accomplished to verify the validity of the blocker designed.

Key Words: blocker(중간금형), preform(예비성형체), FFT, closed die forging(형단조), die design(금형설계)

1. 서론

형단조에서 중간금형(blocker die)이나 예비성형체(preform) 설계는 단조품의 적절한 재료 분포를 얻고 생산비용을 줄이기 위해서 매우 중요한 작업이다. 경험에 의한 중간 금형 제작과 실험에 드는 많은 시간과 비용을 줄이기 위해 컴퓨터를 이용한 중간금형 설계 방법이 필요하게 되었다.

Vemuri⁽⁶⁾ 등은 knowledge based system을 사용하여 기존의 경험법칙을 컴퓨터 프로그램 형태로 만들어 예비성형체 설계를 자동화하였다. Park, Reblelo, Kobayashi⁽⁷⁾는 유한요소법을 이용한 역추적법을 이용하여 예비성형체의 형상을 얻는 방법을 제안하였다. Osman⁽⁸⁾은 UBET을 이용하여 현재 상태의 최적화된 속도장의 반대방향으로 예비성형체의 형상을 설계하는 방법을 제시하였다. Oh⁽¹⁾은 최종 단조품의 형상을 Fourier 급수로 전개한 후 저역 통과 필터로 높은 주파수 영역을 제거하여 3차원의 일반적인 형상의 예비성형체를 자동 설계하는 방법을 제안하였다.

본 연구에서는 기존의 설계 방법 중에서 Oh 등이 제안한 저역 통과 필터를 이용한 중간금형 설계 방법을 사용하여, 항공기 부품인 spoiler support 축소 모델의 3차원 중간금형을 설계하였다. 설계된 중간금형의 유용성과 타당성을 확인하기 위해 성형 공정 모델 실험을 하였다.

2. 저역 통과 필터를 사용한 설계

예비성형체의 형상은 최종 단조품의 형상에서 각 부분의 단면에서 단조면을 따라 이동평균(moving average)을 구하는 기법을 이용하여 얻을 수 있다. 최종 단조품 형상을 저역통과 필터를 사용하여 필터링한 형상은 면적이 보존되며 국부적으로 균형을 이룬다. 이것은 예비성형체의 설계에 있어 중요한 성질이다.

2.2.1 Fast Fourier Transform(FFT)

기하학적 영역의 함수 $g(x,y)$ 를 Fourier 변환에 의해서 주파수 영역의 함수 $G(u,v)$ 로 변환한다. 계산상의 편의를 위해 Discrete Fourier Transform (DFT)를 사용하여 식(1)과 같이 변환한다. Inverse DFT(IDFT)를 사용하여 주파수 영역의 함수를 기하학적 영역으로 식(2)와 같이 변환한다.

$$G\left(\frac{n}{NT_x}, \frac{m}{MT_y}\right) = \sum_{q=0}^{N-1} \left[\sum_{p=0}^{M-1} g(pT_x, qT_y) \cdot e^{-i2\pi np/N} \right] e^{-i2\pi mq/M} \quad (1)$$

$$g(pT_x, qT_y) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} \frac{1}{N} \left[\sum_{n=0}^{N-1} G\left(\frac{n}{NT_x}, \frac{m}{MT_y}\right) \cdot e^{i2\pi np/N} \right] e^{i2\pi mq/M} \quad (2)$$

만약 $M=2^R$, $N=2^R$ 이면 DFT가 효율적으로 계산되고, Fast Fourier Transform(FFT)이라 한다.

2.2.2 저역 통과 필터(low pass filter)

주파수 영역의 함수를 기하학적 영역으로 변환할 때, 높은 주파수 성분을 제거하는 필터를 사용하면 부드러운 형상을 얻을 수 있다. 이때 필터함수는 monotonic smooth 필터를 사용한다. 이 때 변수 α 를 도입하여 필터링의 정도를 조절한다.

$$w(u, \alpha) = w(u/\alpha) = [0.5 + 0.5 \cos(2\pi Tu/\alpha)]^n \quad (3)$$

$$g_x(pT_x, qT_y) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} \frac{1}{N} \left[\sum_{n=0}^{N-1} G\left(\frac{n}{NT_x}, \frac{m}{MT_y}\right) \cdot W\left(\frac{n}{NT_x}, \frac{m}{MT_y}\right) e^{j2\pi n/N} \right] e^{j2\pi m/M} \quad (4)$$

식 (3)은 1차원 필터 함수이므로, x , y 방향의 필터 함수 둘을 곱하여, 2차원 필터 함수를 다음과 같이 얻는다.

$$W\left(\frac{n}{NT_x}, \frac{m}{MT_y}\right) = w\left(\frac{n}{NT_x}, \alpha_x\right) w\left(\frac{m}{MT_y}, \alpha_y\right) \quad (5)$$

식 (3)과 같이 정의된 필터 함수에서 cut-off frequency는 함수의 변곡점이며 다음의 식 (6)과 같이 얻을 수 있다.

$$f_c = \frac{\alpha \cos^{-1}(1-1/n)}{2\pi T} \quad (6)$$

cut-off frequency f_c 는 예비성형체 형상의 부드러운 정도를 결정하는 설계 변수이다.

3. 단조설계(forging design)

Spoiler support의 원래 형상을 일반적인 형단조 공정 실험에 적용할 수 있도록 30% 축소 모델의 단조 설계(forging design)를 수행하였다. 단조 설계는 단조 형식과 소재의 종류와 프레스의 형식에 따라 달라진다. 일반적인 알루미늄 단조 공정에 대한 설계를 수행하였다. 단조 설계 순서는 아래와 같으며 기준⁽³⁾에 따라 설계하

였다. 설계인자는 Table 1과 같다.

- 분할선(parting line)의 위치
- 단조면(forging plane)의 방향
- 최소 가공여유(finish allowance)
- 최소 웨브 두께
- 최소 리브 너비
- 드래프트(draft)
- 최소 모서리(corner) 반지름
- 최소 필렛(fillet) 반지름

Design Parameter	Value
Forging Type	Conventional
Material	Aluminum
Maximum Dimension(inch)	1.452
Maximum Dimension(inch)	6.558
Weight'(lb)	1.19
Area(inch ²)	15.20
Press Type	Mechanical press
* calculated with density of aluminum and volume	

Table 1 Forging design parameters of spoiler support

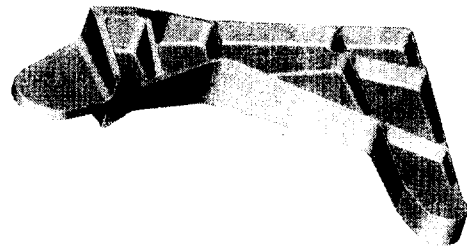


Fig. 1 Shape of original spoiler support

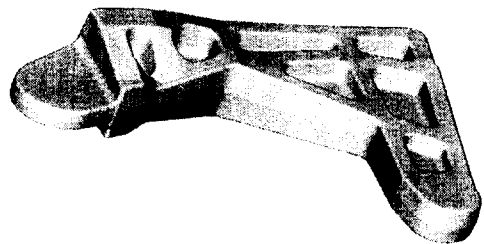


Fig. 2 Shape of spoiler support after forging design

4. 중간금형 설계

Spoiler support의 중간금형을 저역 통과 필터를 사용한 방법에 따라 설계하였다. 사용한 중간금형 설계 프로그램은 'Auto-Blocker'이며, 사

용된 설계변수는 Table 2와 같다.

Design parameter	Value
n	20
cut-off frequency(mm ⁻¹)	0.09
α_r	0.3041
α_s	0.2165
M	2048
N	2048
T_x (mm)	0.1708
T_y (mm)	0.1216
inside distance(mm)	1.0
outside distance(mm)	-1.0
volume ratio	1.10
presale factor	0.5

Table 2 Blocker design parameters of spoiler support

형상의 부드러운 정도를 조절하기 위해 cut-off frequency를 설계 변수로 사용하여 주요단면에서 원하는 체적비를 얻을 수 있게 하였다. 리브가 높은 것을 고려하여, 최종 형상을 105%로 먼저 스케일링 한 후에 필터링하였다. 상대적으로 금형 안의 공간을 채우기 쉬운 티타늄 형식의 경계면을 적용했다. 체적비를 맞추기 위해 필터링된 형상을 전체적으로 상승시켰다.

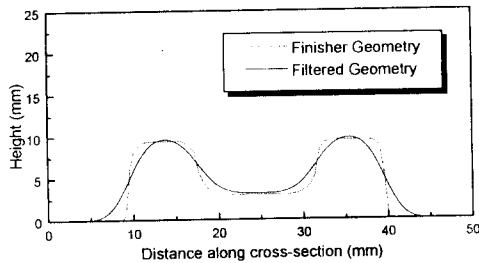


Fig. 3 Cross-section of filtered geometry(section DD)

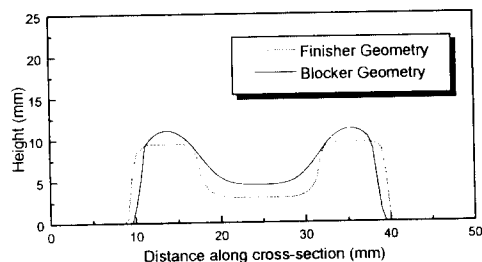


Fig. 4 Cross section of blocker geometry(section DD)

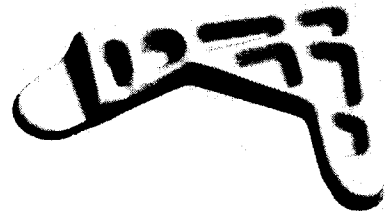


Fig. 5 Shape of blocker geometry

5. 성형 공정 모델 실험

모델 실험은 색깔이 다른 플라스틱을 적용한 소재를 사용하여 원하는 곳에서 단면을 잘라 유동을 관찰할 수 있게 하였다. 금형은 아크릴을 소재로 하여 NC 가공하였다. 초기 소재는 분할선의 안쪽으로 들어간 폐곡선을 일정한 높이로 오프셋시킨 형상을 사용하였다. 중간금형을 사용하지 않고 최종금형을 채우기 위해, 초기 소재의 체적을 최종 단조품의 115%, 120%, 125%로 늘렸다.

6. 결과 및 토론

초기 소재의 체적을 115% 하였을 때는 중간금형을 쓴 경우와 쓰지 않은 경우 모두 소재가 최종금형을 채우지 못했다. 초기 소재의 체적을 120% 하였을 경우 중간금형을 쓴 경우에는 소재가 최종금형을 다 채웠지만, 쓰지 않은 경우에는 일부를 채우지 못했다. 125% 하였을 경우에는 중간금형을 쓴 경우와 쓰지 않은 경우 모두 최종금형을 채울 수 있었다.

6.1 단면 형상 비교

주요 단면에서 중간금형을 사용한 경우와 사용하지 않은 경우에서 최종 단조품의 재료의 유동을 관찰하여 비교하였다. 최종금형만 사용하여 성형하였을 경우 성형 단계 중에 단조품에 결함이 발생할 수 있으며, 체적의 부적절한 배치로 인해 재료가 금형을 완전히 채우지 못하는 부분이 생긴다. 또한 단조품 내부에 불균일한 변형으로 인해 과도한 전단응력이 발생하게 된다. 예비 성형 공정을 거친 후 최종 금형으로

단조품을 성형하였을 때는 단조품의 결함을 줄일 수 있었으며, 단조품 내부에 상대적으로 균일한 변형을 가지게 할 수 있었다.

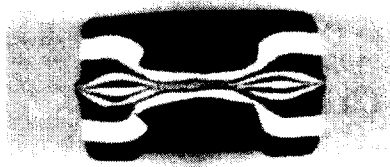


Fig. 6 Cross section (section DD, without blocker)

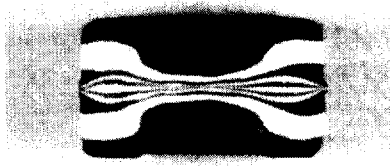


Fig. 7 Cross section (section DD, with blocker)

6.2 하중 변위 곡선

하중 변위 곡선을 살펴보면 초기 소재에서 최종금형을 사용하여 한번에 성형하였을 경우에는 업셋팅이 완만한 곡선으로 나타난다. 경계면에 채워지기 시작하면서 하중이 증가하는데, 경계면에 재료가 채워지기 시작하면 업셋팅에 의한 변형에서 압출에 의한 변형으로 바뀌게 되어 하중이 증가하게 된다. 초기 소재를 중간금형을 사용하여 성형하였을 때는 압출에 의한 변형량이 상대적으로 줄어들어 하중의 기울기의 변화가 완만하며 최대하중을 줄일 수 있었다.

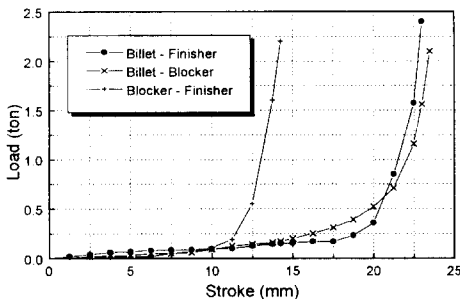


Fig. 8 Comparison of load-stroke curves

7. 결론

본 연구에서는 항공기 부품인 spoiler support의 중간금형의 3차원 형상을 설계하여 그 유용성과 타당성을 밝혔다. 중간금형을 사용한 단조품과 사용하지 않은 단조품의 주요 단면을 비교한 결과 중간금형을 사용하여 보다 적절한 재료 분포를 얻을 수 있었다. 각각의 다른 체적의 초기 소재를 가지고 중간금형을 사용한 경우와 최종금형만 사용한 경우를 비교해본 결과, 중간금형을 사용하여 최종금형 내부 공간을 완전히 채우는데 필요한 초기 소재의 양을 줄일 수 있었다. 같은 초기 소재로 중간금형을 사용한 경우 최종금형의 최대 단조하중을 줄일 수 있었다.

참고문헌

- (1) S. I. Oh and S. M. Yoon, "A New Method to Design Blockers", *Annals of the CIRP*, Vol.43, pp245-248, 1994.
- (2) Taylor Altan, S. I. Oh, Gegel, H., *Metal Forming : Fundamentals and Applications*, ASM, 1983.
- (3) *Forging Design Handbook*, American Society for Metals, ASM, 1972.
- (4) 윤성만, "지역 통과 필터를 이용한 열간 형단조의 3차원 예비성형용 금형 자동 설계", 서울대학교 박사 학위 논문, 1996.
- (5) Juipeng Tang, "AFD: A Knowledge Based Approach to Automated Forging Design", Ph.D. Dissertation, The Ohio State University, 1986.
- (6) K. R. Vemuri, S. I. Oh, and T. Altan, "BID: A Knowledge-Based System to Automate Blocker Design", *Int. J. Machine Tools Manufact.*, Vol.29, pp505, 1989.
- (7) Park, J. J., Rebelo, N., and Kobayashi, S., "A New Approach to Preform Design in Metal Forming with the Finite Element Method", *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, Vol.23, No. 1, pp71-79, 1983.
- (8) F. H. Osman and A. N. Bramley, "Forging and Preform Design Using UBET", *Advanced Tech. of Plasticity*, Vol.1, pp563-568, 1984.
- (9) R. L. Bodnar, D. C. Ronemus, B. L. Bramfitt and D. C. Shah, "Physical Modeling of Hot-Deformation Process - Using Plasticine", *Transaction of the ISS*, pp35-46, 1986.