한국정밀공학회지 제17권 제1호 (2000년 1월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 17, No. 1, January 2000.

비대칭 리브-웨브형상 열간 단조품의 변형 속도 제어 기술

이영선*, 이정환*

The Technology to Control the Flow Velocity of Non-Symmetric Rib-Web Shape Hot Forged Part

Young-Seon Lee*, Jung-Hwan Lee*

ABSTRACT

Precision forging technology that can control flow velocity of workpiece have been developed to minimize the amounts of machining. To get the uniform rib length, flow velocity distribution is needed to be estimated and controlled. Computer-aided design is known for very effective to estimate the deformation behavior and design the die for controlling the flow velocity. In this study, die design to control the deformation velocity are investigated using the DEFORM-2D about rib-web shape parts. Also we can get uniform rib length by enforcing the back pressure at end section of rib. The applied load of back pressure forming is lower than that of conventional forging. These results are analysed and confirmed by the experiment.

Key Words : Al alloys(Al합금), Die Design(금형설계), Precision Forging(정밀단조), F.E.M.(유한요소법), Rib-Web Shape Forging(리브-웨브 형상 단조), Back Pressure Forming(배압성형), Flow Velocity(유동속도)

1. 서론

리브-웨브 형상 제품을 정밀단조하는 기술은 많은 수요가 있으나, 여러개의 얇은 리브가 존재할 경우는 부위별 속도 차이에 의해 부위별 성형량을 균일하게 제어하기가 매우 곤란하다.[1]

본 연구에서는 치수적인 측면에서 단조품의 정밀도를 향상시키기 위해 부위별 길이 편차를 감소시킬 수 있는 금형 설계 및 배압 성형 기술에 대해 분석하였다. 단조품에서 발생되는 부위별 길이 편차는 대부분 유동속도의 차이에 의해 발생되므로 길이 편차를 감소 또는 제거하기 위해서는 유동속도를 제어할 수 있는 공정기술이 필요하다. 유동속도는 금형 설계(코너반경 등)의 최적화를 통해 일정 부분 제어할 수 있으나, 이럴 경우에도 제어 가능한 한계가 있으며, 부위별 금형 치수를 조정하기 곤란한 경우에는, 이를 해결할 수 있는 적극적인 속도 제어 기술을 이용하는 것이 유리하며 그 가운데 하나가 배압성형기술이다. 본 연구에서는 금형의 코너 반경을 조절하여 부위별 유동속도를

* 한국기계연구원 재료공정연구부

제어하는 방법과 배압성형기술을 이용하여 속도를 제어하는 기술에 대하여 유한요소해석 결과와 실험 결과를 비교하여 기술하고자 한다.

2. 금형 코너 반경에 따른 재료 유동 속도 제어

단조시 성형성에 영향을 미치는 것은 원소재의 성형성 이외에 윤활 조건, 가열 조건, 성형속도와 금형의 기하학적 형상 등의 다양한 공정변수에 따라 변화된다. 금형의 코너 반경에 따른 성형성은 리브-웨브의 폭 비에 따라 최적의 효과를 나타내는 임계 코너 반경이 있으며, 이에 대해서는참고문헌[2]에 자세히 기술되어 있다. 따라서, 단조시 재료 유동은 금형의 코너 반경에 의해 그 속도가 변화되므로 코너 반경을 조절하므로써 최종 단조품의 부위별 길이를 제어할 수 있다.

그림 1은 실험에 사용된 항공기 구조부품인 Wing Rib 단조품의 외관으로 부위별 길이 편차가 그림 2와 같이 발생되고 있다. 실험에 사용된 단조 금형의 경우는 코너 반경이 3부위 모두 2mm로 동일하였으며 최적의 코너반경을 선정하기 위해 해석을 수행하였다.

Table 1 Material input data used in the F.E.M. analysis

		Workpiece		Die
Material Name		Al 7075	AHS	SKD61
Mechanical Properties	Young's Modulus	72,364 MPa	79,000 MPa	200,000~145,000 MPa
	Poisson's Ratio	0.33	0.33	0.295
	Flow Stress	DEFORM D.B.[3]	Experiment	DEFORM D.B.[3]
Thermal Data	Thermal Expansion Co. (/℃)	7.7e-3	7.3e-4	14.9e-6
	Thermal Conductivity (N/sec./℃)	129.85	196.85	35.06
	Heat Capacity ($N/mm^2/℃$)	2.6913	2.341	3.5624
	Emissivity	0.6	0.5	0.6

해석에 사용된 초기 유한요소 모델은 그림 3과 같이 실험과 동일한 조건하에서 평면 변형율, 비등온 해석을 수행하였으며 사용된 금형(SKD61)과 소재(Al7075)의 물성치는 표 1과 같다. 그림 4는 실험과 동일한 조건하에서 수행된 해석 결과로 리브 길이 편차가 그림 2의 실험과 동일한 결과를 나타내고 있다. 그림 5는 등온해석을 이용한 3차원 해석결과로서 부위별 변형속도가 많은 차이를 나타냄을 확인시켜 주고 있다. 부위별 길이 편차를 분석하면 그림 6과 같이 Stroke가 증가됨에 따라 부위별 Rib 높이가 불균일해짐을 알 수 있다. 평균 Rib높이는 Stroke 증가에 따른 비례적으로 증가되고 있으나 부위별 높이 편차(Delta Rib Height)는 4mm Stroke를 기점으로 증가되고 있음을 알 수 있다.

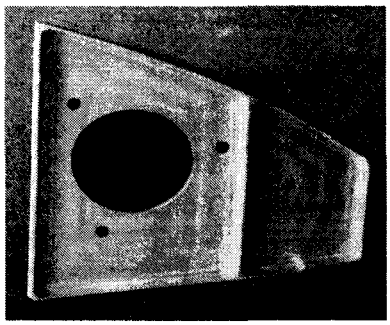


Fig. 1 The appearance of wing rib

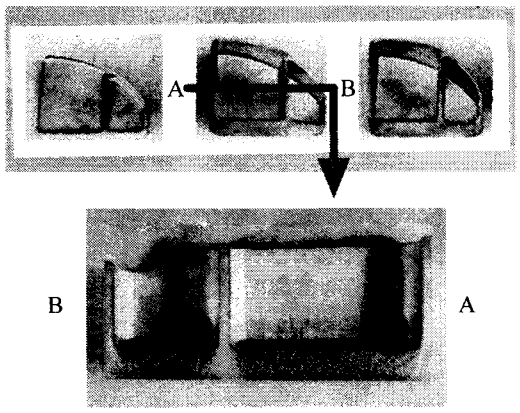


Fig. 2 The variation of rib length of wing-rib forged part

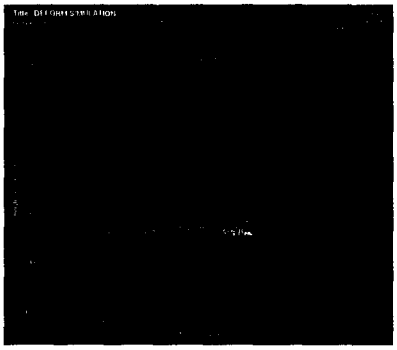
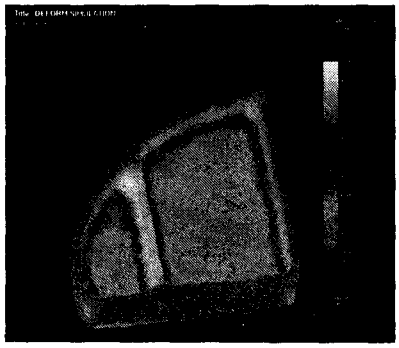


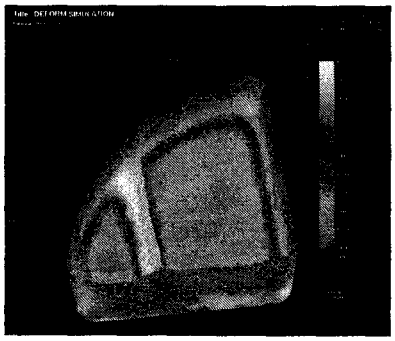
Fig. 3 The initial mesh system of wing-rib forging simulation

Fig. 4 Rib height variation of wing rib (DEFORM-2D Results)

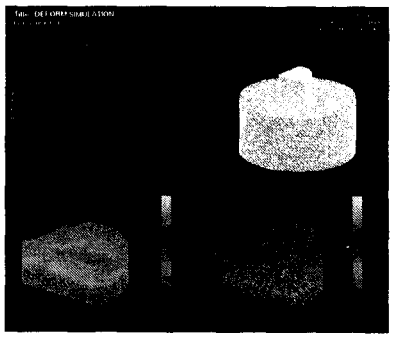
(a)



(b)

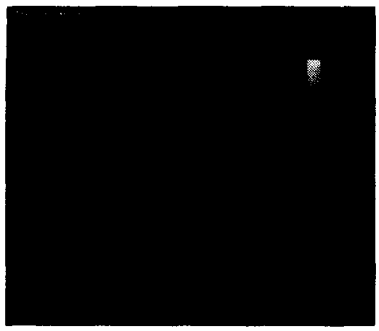


(c)



(d)

Fig. 5 Strain distribution of wing-rib forged part (DEFORM-3D Results)



(a)

(b)

(c)

(d)

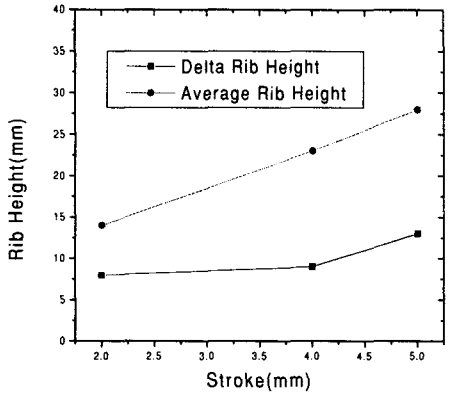


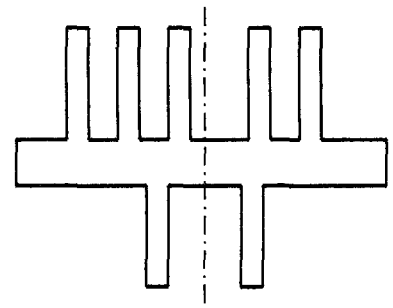
Fig.6 Rib height variation of forged part according to the stroke

이와같은 부위별 길이 편차를 감소시키기 위해서 부위별 코너반경을 제어하였다. 즉, 유동속도를 제어하기 위해 리브 길이가 상대적으로 긴 부위는 코너 반경을 조절하여 유동속도를 감소시키고 리브 길이가 짧은 부위는 최적의 코너 반경을 선정하므로써 최종 단조품의 길이를 제어할 수 있다. 그림 7은 코너 반경을 변경하여 유동속도를 제어한 결과로 부위별 길이 편차가 매우 감소하였음을 보여주고 있다.

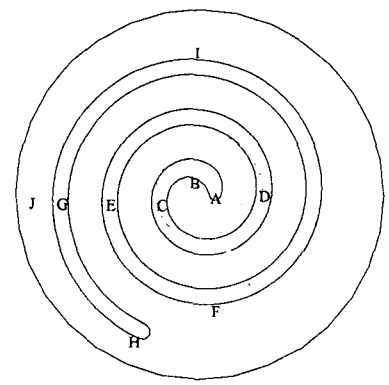
Fig. 7 The rib variation improved by modifying the corner radius and controlling the velocity

3. 배압성형을 이용한 속도 제어

금형설계 기술을 이용하여 속도를 제어하는 것은 금형의 형상과 치수를 부위별로 제어할 수 있는 형상에 대해서 가능하며 그 한계가 있다. 또한, 제품 형상이 그림 8과 같이 임의의 점을 시작하여 계속적으로 변화되는 비대칭인 형상의 경우에는 금형의 코너 반경을 부위별로 변화시킬 수 없게 된다. 따라서, 이런 경우에는 또 다른 유동속도 제어 방법이 요구되며 이를 위한 방법으로배압성형 기술을 이용할 수 있다. 배압 성형 기술이란 공· 유압, 우레탄 고무 등을 이용하여 발생시킨 압력을 성형품의 일부에 부하시켜 가공하는 공정을 말하는데, 그림 9에 배압 성형의 원리를 도식적으로 나타내었다. 그림 9에서 알 수 있듯이 주하중(Main Pressure)에 의한 일방향 압축시 압출부위(Web부)의 선단부는 자유 표면(Free Surface)에 놓이게 되므로 결함 발생 및 미충진의 결과를 초래할 수 있다. 그러나 성형 초기에 적절한 압력으로 배압(Back Pressure)을 가하여 성형함으로 인해 Web부의 결함방지 및 소재 완전 충진의 효과를 얻을 수 있다. 또한 재료의 유동을 제어할 수 있으므로 부위별 길이가 균일한 제품을 제조할 수 있으며, 하중의 저감과 공정수의 삭감이 가능하게 되며, 압출된 부분의 형상이 균일하게 되어 재료 회수율 증가 및 후가공의 삭감이 가능하게 된다. 그림 10은 배압성형기술을 이용하여 제조된 비대칭 회전 부품으로 연속된 리브의 길이에 편차가 전혀 발생되지 않은 정형의 제품 제조가 가능함을 보여주고 있다. 이와같은 배압성형기술은 여러 가지 공정 기술 가운데 적정 배압력의 선정이 가장 중요하다. 본 연구에서는 적정 배압력 선정을 위해 유한요소 해석을 이용하였다. 해석에 사용된 물성치는 표 1과 같으며 그림 11은 초기 유한요소모델을 나타내고 있다. 그림 12는 배압을 작용시키지 않은 경우와 작용시킨 경우에 대하여 유한요소해석을 이용하여 비교한 것으로 배압을 가했을 때는 5개의 리브 길이가 동일하게 성형됨을 보여주고 있다. 이와 같은 배압성형기술은 종래의 성형법처럼 최종 상태에서 단조하중이 급격히 증가되는 현상을 방지할 수 있기 때문에 단조하중 또한 감소시킬 수 있다. 그림 13은 배압 조건에 따른 단조하중을 나타내고 있는데, 그림에서 A는 상· 하 리브(Rib)로 압출이 시작함에 따라 증가되는 하중을 보여주며, B는 하부 펀치에 배압이 작용되는 시점을, C는 상부 펀치에 소재가 접촉되는 시점을, D는 무배압 성형시 하부 펀치에 소재가 접촉되는 시점을 나타내고 있다. 배압력을 작용하지 않는 P1의 경우는 리브로 압출이 시작되는 A부위에서 일시적인 하중증가가 일어난 후 정상상태의 압출이 이루어지면서 하중 증가가 거의 없으며 하부 펀치에 소재가 접촉하는 시점인 D부위에서 급격한 하중 증가를 나타내고 있다. 반면에 부위별 리브 길이를 균일화 할 수 있는 최소 배압력인 4.9 MPa에서는 하부 펀치에 배압이 작용되는 시점인 B 부위에서 작용 배압력의 크기 만큼 하중이 증가된 후 상부펀치에 소재가 접촉되는 시점인 C 부위에 도달하기 까지 다시 정상 상태 압출이 이루어진 후 최종 제품으로 성형이 이루어진다. 또한, 최대 성형 하중은 최소 배압력이 작용되는 P4의 경우가 배압을 작용하지 않는 P1의 경우 보다 약 20% 정도 감소됨을 알 수 있다.



(Section View)



(Front View)

Fig. 8 The drawing of the non-symmetric rotating part

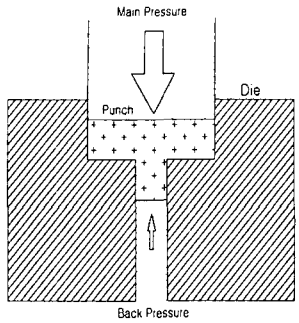


Fig. 9 The schematic diagram of back-pressure forming

Fig. 10 The non-symmetric rotating part manufactured by back-pressure forming

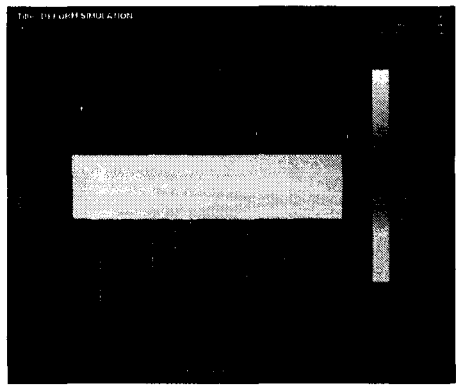
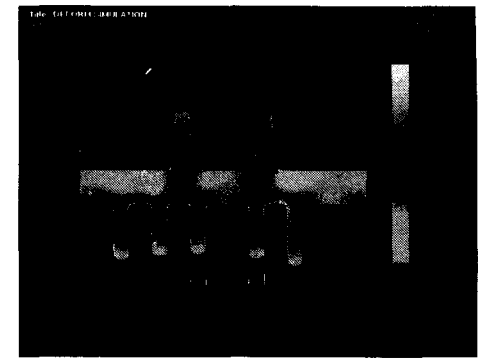


Fig. 11 The initial mesh system of back-pressure forging simulation



1 2 3 4 5

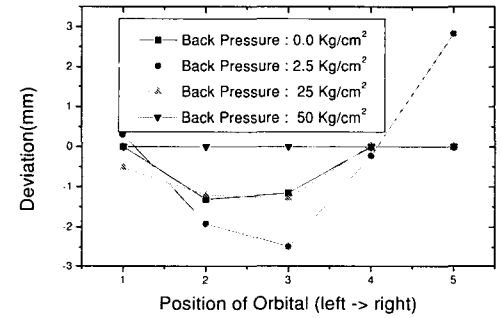


Fig. 12 The variations of rib length according to the amount of back-pressure

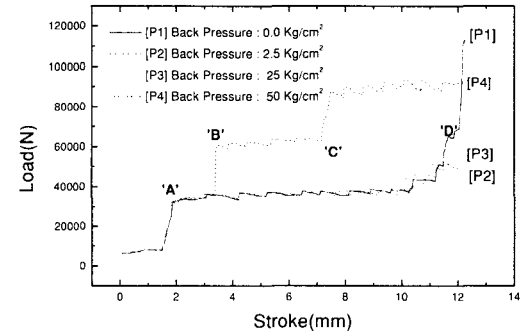


Fig. 13 The comparisons of applied load according to the amount of back-pressure

4. 결 론

리브-웨브 형상 제품을 정밀단조하기 위해서는 리브의 부위별 속도를 균일하게 제어해야 하며 본 연구에서는 유동 속도 제어를 위해 금형 설계(코너반경 등)의 최적화와 배압성형기술에 대하여 그 특성을 분석하였다.

1) 웨브에서 리브로 압출되어 유동되는 속도는 리브 시작 부위의 코너 반경에 의해 영향을 받게 되므로 코너 반경의 조절은 각 리브의 유동속도를 제어할 수 있다.

2) 그러나, 코너 반경을 부위별로 조절하기 곤란하거나, 그 효과가 부족할 경우는 배압성형기술을 이용하는 것이 유리하며 제품 크기와 형상에 따라 최적의 배압력이 존재하므로, 최적 배압력 선정이 필요하며, 유한요소해석을 이용하여 선정하는 것이 매우 효과적임을 실험을 통하여 입증하였다.

3) 배압력이 부적절할 경우는 배압력을 사용하지 않을 경우 보다 리브의 길이편차가 더 증가되며 금조하중 또한 증가된다.

참고문헌

1. 이정환,정형식,이영선,이상용, "항공기용 AL합금의 정밀단조기술," 기계와재료 제6권, 제2호, pp46～59, 1994.
2. 이정환,이영선,이상용, "Rib-Web형상 정밀단조시 성형성 향상을 위한 공정설계," 대한기계학회 '97춘계학술대회 논문집, p150～159, KSME 97R618.
3. Taylan Altan, Soo-Ik Oh, Harold L.Gegel, "Metal Forming," ASM, 1983.
4. 澤口弘志, 가동스크롤의 제조법, 미쯔비시경금속, 특허#5-171212, 1993.
5. 小林政春, 스크롤 우근(羽根)의 제조법, 특허#6-114489, 1994.