

다단 이형인발공정설계에 관한 연구

Study on The Process Design of Multistage Shape Drawing Process

이상곤¹, 이태규², 김성민², *김병민³

S. K. Lee¹, T. K. Lee², S. M. Kim², *B. M. Kim(bmkim@pusan.ac.kr)³

¹ 부산대-IFAM 국제공동연구소, ² 부산대 대학원 정밀기계공학과, ³ 부산대 기계공학부

Key words : Process design, Multistage shape drawing, Initial material size, Intermediate die design

1. 서론

다단 이형인발공정은 단면형상이 일정한 길이가 긴 기체부품을 매우 효과적으로 생산할 수 있는 성형공정으로, 단면형상이 복잡한 제품의 경우 일반적으로 2 패스 이상의 다단인발이 적용된다.^{1,2} 요구 품질을 가진 최종제품을 생산하기 위해서는 적절한 이형인발공정설계가 필수적이다. 본 연구에서는 초기 원형소재를 이용한 다단 이형인발공정설계의 일환으로 초기 소재크기 설정 및 중간 패스 단면형상 설계방법을 제안하였으며, 이를 이용하여 실제 산업현장에서 2 패스 이형인발로 생산되고 있는 크로스 롤러 가이드(Cross roller guide) 이형인발공정을 설계하였다. 본 연구에서 설계된 이형인발공정에 대하여 유한요소해석 및 이형인발 실험을 통하여 현장 생산공정과 비교하여 그 타당성을 검증하였다.

2. 초기소재 크기 및 중간 패스 단면형상 설정

이형인발 시 초기 원형소재는 최종제품의 최소 외접원보다는 반드시 커야만 한다. 그렇지 않은 경우 Fig. 1 에서 보듯이 최종제품이 초기소재보다 커 언더컷 영역이 발생하게 되어 인발 후 언더컷 영역에서 과도한 미충만이 발생하게 된다. 본 연구에서는 언더컷 영역이 발생하지 않도록 최소 외접원을 기준으로 직경을 인발패스당 2~4mm 키워 초기 소재의 직경을 결정하였다.

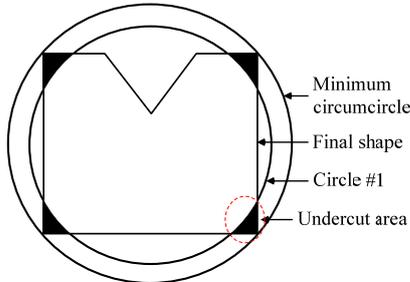


Fig. 1 Determination of initial material size

다단 이형인발공정설계 시 중간패스 다이 단면형상 설계는 가장 중요한 단계로, 요구되는 최종제품의 치수정도를 확보하기 위해서는 적절한 단면형상이 설계되어야 한다. 지금까지 중간패스 다이 단면형상 설계에 관한 몇몇 연구들이 수행되었으나, 실제 현장에 적용하기에는 한계가 있는 실정으로, 대부분 현장 숙련자의 노하우에 의존하여 설계되고 있다.³

본 연구에서는 Fig. 2 에서 보듯이 초기소재 및 최종제품 형상을 이용하여 만들어지는 가상다이(Virtual die)를 이용한 중간패스 다이 단면형상 설계방법을 제안하였으며, 그 설계절차는 다음과 같다.

- Stage 1 초기소재와 최종제품을 이용하여 1 차 가상다이구성
- Stage 2 패스 수를 고려하여 1 차 가상다이를 등간격으로 절단한 후 절단면 추출
- Stage 3 단면감소율(r)로 식(1)의 스케일계수(SM)를 구한 후 이를 이용하여 최종형상을 확대한 후, 확대된 형상과 Stage 2 에서 추출된 절단면을 이용하여 2 차 가상다이구성

$$SM = \sqrt{(100/(100-r))} \quad (1)$$

Stage 4 2 차 가상다이를 1/2 로 나누어 확보되는 단면을 중간패스 다이 단면형상으로 설정

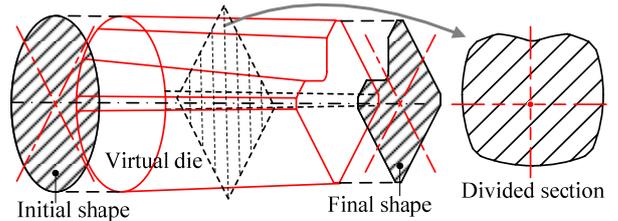


Fig. 2 Virtual die constructed by the initial and final shape

3. 크로스 롤러 가이드 이형인발공정 설계

본 연구에서 제안한 설계방법을 실제 현장에서 2 패스 인발공정으로 생산되고 있는 크로스 롤러 가이드(Fig. 2)에 대한 이형인발공정설계를 수행하였다.

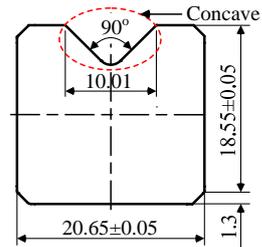


Fig. 3 Dimension and shape of cross roller guide

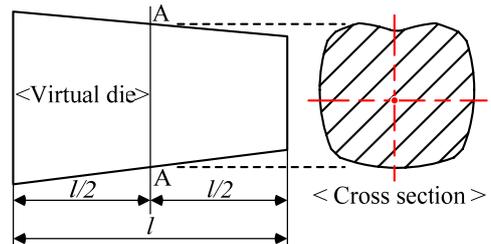


Fig. 4 Cross sectional shape of the 1st virtual die

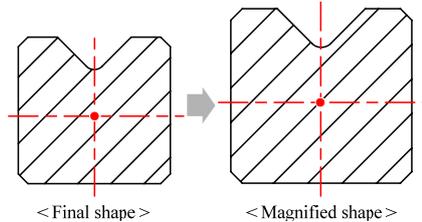


Fig. 5 Magnification of the final shape by SM value

초기소재 직경은 29.0mm 이며, 총단면감소율은 42.48% 이다. 이형인발공정 시 Fig. 3 에서 보듯이 제품단면에 오목부가 존재하는 경우 오목부의 국부단면감소율은 다른 영역보다 높게 설정되어야만 한다. Fig. 4 에서 보듯이 1 차 가상다이 절단면의 경우 오목부 국부단면감소율이 충분히 높지 않기 때문에 중간패스로 활용할 수 없다. 오목부의 국부단면감소율을 높이기 위하여 본 연구에서는 스케일계수를 이

용하였다. 계산된 스케일계수를 이용하여 Fig. 5 와 같이 최종제품 단면형상을 확대한 후, 1차 가상다이를 절단면(Fig. 4)을 이용하여 2차 가상다이를 구성한다. 2차 가상다이를 1/2로 절단하여 절단된 면을 중간패스 다이 단면형상으로 설정한다. Fig. 6에서 알 수 있듯이 2차 가상다이 절단면의 오퍼부 국부단면감소율이 1차 가상다이 절단면보다 높음을 알 수 있다.

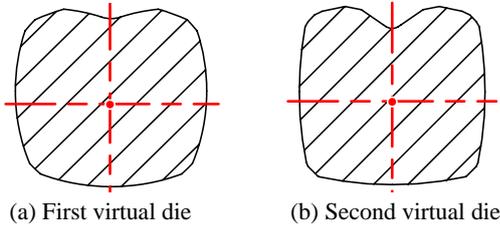


Fig. 6 Comparison of the divided sections of virtual dies

4. 성형해석 및 이형인발실험

본 연구에서 제시한 설계방법의 타당성을 검증하기 위하여 가상다이 및 현장작업자에 의해 설계된 두 공정에 대한 성형해석을 수행한 후 최종제품의 치수정도를 비교하였다. 해석은 DEFORM-3D를 이용하여 대칭면을 고려한 1/2 단면에 대하여 수행하였다. Fig. 7에 성형해석 모델을 나타내었다.

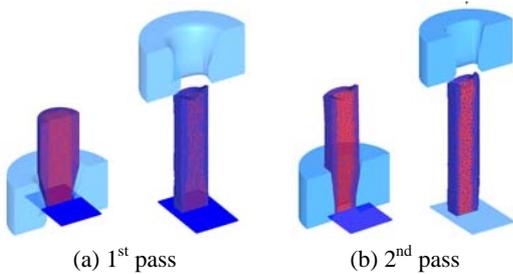


Fig. 7 FE-analysis model for shape drawing process

단면치수정도는 요구되는 최종단면적(A_f)과 해석결과 계산된 최종단면적(A_a)를 이용하여 식(2)로 계산되는 미충만율(UR)을 이용하여 평가하였다.

$$SM = (1 - A_a / A_f) \times 100 \quad [\%] \quad (2)$$

마지막으로 다단 이형인발실험을 통하여 그 타당성을 검증하였다. 적용 소재는 실제 현장에서 적용되고 있는 AISI4137이며, Fig. 8에 실험에 사용된 중간패스 다이와 인발기를 나타내었다.

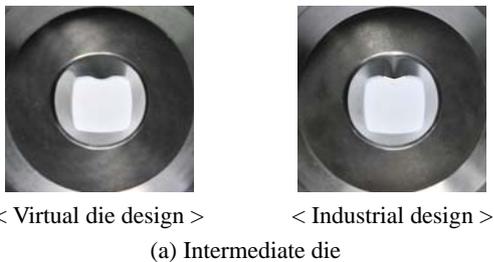


Fig. 8 Shape drawing experiment

Fig. 9에 인발실험을 통해 생산된 크로스 롤러 가이드를 나타내었다. 실험결과 두 경우 모두 양호한 제품을 생산할 수 있었다. 두 경우에 대한 성형해석 및 실험을 통해 평가한 미충만율 및 인발하중을 Table 1에 나타내었다. 인발하중은 해석 및 실험결과가 유사함을 알 수 있다. 미충만율의 경우 성형해석 시 유한요소개수의 제약으로 인해 해석결과와 실험결과 사이에 다소 차이는 있으나, 그 경향은 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 따라서, 본 연구에서 제시한 설계방법을 적용할 경우 기존 현장작업자에 의해 설계된 경우보다 최종제품의 단면 치수정도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.



Fig. 9 Final drawn cross roller guide

Table 1 Comparison of drawing load and unfilling rate

Design method	Virtual die design		Industrial design		
	FEM	Exp.	FEM	Exp.	
Load (ton)	1pass	31.51	32.71	31.93	32.95
	2pass	26.76	28.04	26.65	27.79
UR(%)		1.455	0.421	1.765	0.483

5. 결론

본 연구에서는 초기원형소재를 이용한 다단 이형인발공정 설계의 일환으로 초기 소재 크기 및 중간패스 다이 단면형상 설계방법을 제안하였다. 초기소재 직경은 최종제품의 최소 외접원보다 반드시 커야만 한다. 초기소재 직경은 최소 외접원 직경을 기준으로 패스당 2~4mm 크게 설정하였다. 초기소재와 최종제품 형상을 이용하여 가상다이를 구성할 수 있다. 본 연구에서는 패스 수를 고려한 1차 가상다이의 절단면 및 스케일 계수로 확대된 최종제품 단면을 이용해 구성되는 2차 가상다이의 절단면을 이용한 다단 이형인발공정 중간패스 다이 단면형상으로 설정하였다. 제안된 방법을 이용하여 크로스 롤러 가이드 생산을 위한 2패스 이형인발공정설계에 적용하였으며, 성형해석 및 이형인발실험을 통하여 그 타당성을 평가하였다. 그 결과 최종제품의 치수정도를 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업 및 국제과학기술협력재단의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

1. Yoshida, K., and Tuihiji, S., "Multiple Drawing of Rails for Linear Motion Guide," Adv. Technol. Plasti., 1, 367-372, 2002.
2. Lee, J.E., Lee, T.K., Lee, S.K. and Kim, B.M., "The Classification of Available Shaped Drawing Profile According to The Degree of Difficulty of Shape," Annals Fall Conference of the KSPE, 341-342, 2008.
3. Brücker, M., Keller, D. and Reissner, J., "Computer-Aided Drawing of Profile from Round and Square Bar," Annals of the CIRP, 37, 247-250, 1988.