

예압된 정밀 냉간단조 금형설계에 관한 연구

여흥태*(동의대 대학원 기계공학과), 최영(경남대 기계자동차공학부),
허관도(동의대 기계산업시스템공학부)

A Study on the Design of the Prestressed Precision Cold Forging Die

H. T. Yeo(Mech. Eng. Dept., Dongeui Univ.), Y. Choi(Mech. and Auto. Eng. School, Kyungnam Univ.)
and K. D. Hur(Mech. Eng. Dept., Dongeui Univ.)

ABSTRACT

The dimensional accuracy of the cold forged part is depended on the elastic characteristics of the die. To obtain the high stiffness of the prestressed die, the first stress ring of the tungsten carbide material is considered. For the design, Lamé's equation is used. The design of the prestressed die has been compared with the conventional that. For the comparison, the FE-analysis using ANSYS has been performed. The results indicate that the prestressed die with the high stiffness can be obtained by the using the high stiffness material as the first stress ring.

Key Words : Prestressed precision die(예압된 정밀금형), First stress ring(첫 번째 보강링), Die deformation(금형 변형), Diameter ratio(분할직경비), Interference(간섭량), Stiffness(강성)

1. 서론

냉간단조는 다른 프레스 가공에서는 볼 수 없는 큰 압력에서 작업하므로 금형의 파손 및 마모, 응력 집중들이 국부적으로 생기기 쉽고 금형에 탄성변형이 생겨 정밀제품을 생산하기 어려운 경우도 발생할 수 있다. 이러한 경우 금형의 파손을 방지하기 위해 보강링에 의해 다이 인서트를 보강하여 사용한다. 이전의 이중 보강링으로 예압된 금형의 경우 첫 번째 보강링의 강성이 보강효과에 중요한 인자로 작용함을 알 수 있었다⁽¹⁾.

본 연구에서는 첫 번째 보강링의 강성을 증가시켜, 전체 금형의 강성을 높이는 방법으로 정밀 냉간단조 금형을 설계하려고 한다. 즉, 첫 번째 보강링의 재질을 초경으로하여 전체 금형의 강성을 높혀, 단조시 인서트의 변형을 최소화하는 정밀금형 설계 방법을 제안한다.

보강링을 초경으로 사용할 경우, 초경은 인장응력에 취약하므로 인장의 원주방향응력이 발생하지 않도록 금형은 바깥에서 안으로 보강링 및 다이 인서트의 조립이 필요하다.

2. 금형설계

2.1 직경 결정

본 연구에서 사용된 직경 결정방법은 가장 큰 내압이 작용하는 부분에서의 직경을 이용하여 최대 내압이 작용할 때 다이 인서트와 보강링이 동시에 항복하는 조건과 초경을 사용한 경우는 원주방향응력이 인장응력이 발생하지 않는 범위에서 결정하도록 Lamé의 식을 이용하여 구성하였다⁽²⁻⁴⁾. 다이 인서트가 초경일 경우는 이전의 식⁽⁴⁾을 사용하였고 보강링이 초경일 경우는 다음과 같다.

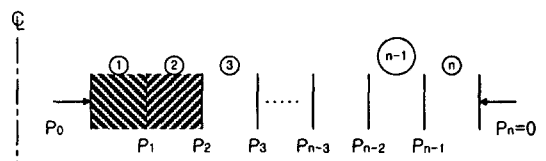


Fig. 1 Schematic illustration of compound ring

각 링이 동시에 항복하는 조건으로부터 첫 번째 보강링②에 작용하는 외압은 다음과 같다.

$$p_2 = \sum_{k=3}^n \frac{Y_k}{2} (1 - Q_k^2) \quad , (k = 3 \sim n) \quad (1)$$

$$Q = Q_1 Q_2 \dots Q_n \quad (2)$$

여기서 Y_k 와 Q_k 는 각각 k 번째 링의 항복응력과 분할직경비를 나타내고, Q 는 d/d_0 이다.

1) 다이 인서트는 공구강이고 첫 번째 보강링②가 초경일 때

$$p_1 = \frac{\sum_{k=3}^n Y_k}{1 + (n-1)(Q_2^2)^2} \quad (3)$$

$$Y_1 Q_1^2 = \frac{2p_1}{(1+Q_2^2)} Q_2^2 = \frac{2Y_k}{(1+Q_2^2)} Q_k^2 \quad (4)$$

$$p_0 = p_1 + \frac{Y_1}{2} (1 - Q_1^2) \quad (5)$$

식(3)에서 먼저 Q_2^2 를 가정하고 식(3)과 (2)에 의해 Q_1, Q_2, Q_3 를 구하고 $|Q_2^2 - Q_3| \leq \delta$ 를 만족할 때 분할직경비를 선택한다. 이때 최대 내압은 식(5)와 같고 만족하지 않으면 Q_2 값을 Q_2^2 에 대입하여 식(3)을 다시 반복한다.

2) 다이 인서트① 및 첫 번째 보강링②가 초경일 때

$$\frac{p_0 Q_1^2}{(1+Q_1^2)} = \frac{p_0 Q_2^2}{(1+Q_2^2)} = \frac{2Y_k Q_k^2}{(1+Q_1^2)(1+Q_2^2)} \quad (6)$$

$$p_0 = \frac{2}{(1+Q_1^2)} p_1 \quad (7)$$

식(3)에서 먼저 Q_2^2 를 가정하고 식(6)과 (2)에 의해 Q_1, Q_2, Q_3 를 구하고 $|Q_2^2 - Q_3| \leq \delta$ 를 만족할 때 분할직경비를 선택한다. 이때 최대 내압은 식(7)과 같고 만족하지 않으면 Q_2 값을 Q_2^2 에 대입하여 식(3)을 다시 반복한다.

본 연구에서는 자동차에 장착되는 부품으로 성형 공정중 일부분에 대해 성형해석과 금형해석을 수행하였다. Fig. 2는 본 연구에서 선택한 공정의 금형과 펀치의 주요부분의 치수를 나타낸다.

앞의 식에 의해 분할직경비를 구하기 위해 Table 1의 재료를 이용하였다. Table 2는 금형 구성에 대해 여러 경우에 대한 재료를 나타냈다. Table 3은 각 경우에 대해 윗 식으로 구한 분할직경비를 나타낸다.

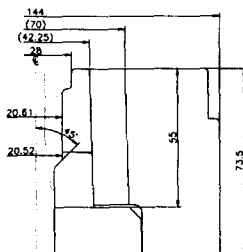


Fig. 2 Dimension of die and punch

Table 1 Mechanical properties of used materials

Mat.	HrC	E	S _Y	ν
GTi50	84	450GPa	2900MPa	0.24
SKD61(S-ring 1)	56	212GPa	1550MPa	0.30
SKD61(S-ring 2)	50	212GPa	1300MPa	0.30
SKD11	60	209GPa	1950MPa	0.30

Table 2 Materials of case for die configuration

Case	Insert	S-ring 1	S-ring 2	Backplate
1	GTi50	SKD61	SKD61	SKD11
2	SKD11	GTi50	SKD61	SKD11
3	GTi50	GTi50	SKD61	SKD11

Table 3 Diameter ratios of die set

Case	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q
1	0.4984	0.5117	0.5587	0.1425
2	0.4627	0.6457	0.4770	0.1425
3	0.5674	0.5674	0.4427	0.1425

2.2 간섭량 결정

각각의 직경 및 최대 내압에 대해 등간격으로 하한에서 상한까지 간섭량 변화에 따른 보강링의 체결 과정 및 내압이 작용할 때 Lamé의 식을 이용하여 항복여부를 판별하였다. 그 결과는 Fig. 3과 같다. 타원 기호 1은 첫 번째 보강링과 두 번째 보강링을 체결할 때 항복하는 영역이고 2는 체결된 두 개의 보강링과 다이 인서트를 체결할 때 항복하는 영역, 3은 체결된 금형에 내압이 작용할 때 항복하는 영역이다.

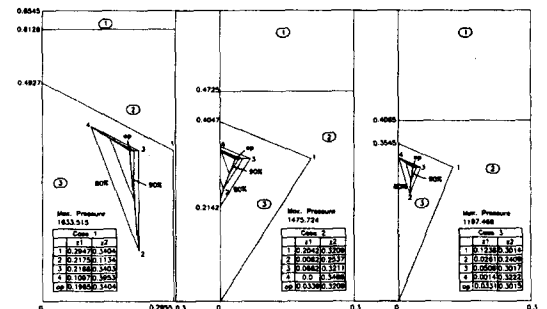


Fig. 3 Yielding area according to interferences

그림에서 삼각영역은 최대 내압의 90, 80%를 작용시켰을 때 안전한 영역을 나타낸다. 본 연구에서는 각 끝점을 연결하여 만나는 점(op)을 간섭량으로 선택하였다. 이와 같은 결과에서 다이 인서트에 작용하는 압력에 따라 선택 가능한 간섭량의 변화 영역을 판단할 수 있고, 또한 보강시에 유효한 간섭량을 영역내에서 선택할 수 있다.

3. 유한요소해석

3.1 성형해석

Fig. 4는 강소성 유한요소 해석 코드인 DEFORM⁽⁵⁾으로 해석한 전 공정에 대한 하중-변위선도이다. 가공소재는 SUS 410 으로 유동응력식은 식(8)과 같다. 해석시 마찰상수 $m=0.1$ 로 하였다.

$$\bar{\sigma} = 960 \bar{\epsilon}^{0.10} \text{ [MPa]} \quad (8)$$

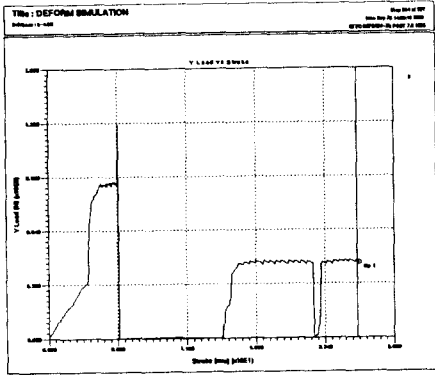


Fig. 4 Load-stroke diagram of processes

본 공정의 초기의 소재 형상과 성형 후 형상을 Fig. 5(a), (b)에 나타내었다. 작은 화살표로 표시된 것은 소재에서 다이 인서트에 작용하는 절점력을 나타낸 것이고, 수직 화살표는 다이 인서트 밑면으로부터의 높이를 나타낸다.

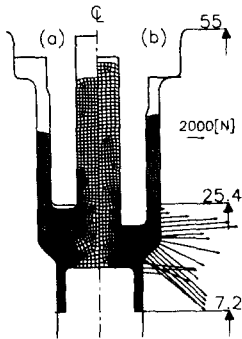


Fig. 5(a) Initial mesh of material
(b) Final mesh of material

3.2 금형해석

Fig. 5(b)에서 다이 인서트의 강체를 금형해석을 위한 탄성격자로 변경하고 DEFORM의 해석 결과 중 절점력을 보간하여 ANSYS⁽⁶⁾ 해석시 입력되는 절점력으로 사용하였다. Fig. 6은 금형의 유한요소 격자 및 경계조건들을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 다

이 인서트 내면의 변위를 관찰하기 위해 같은 위치에 절점을 만들고, 금형세트를 ANSYS에서 접촉요소를 적용한 탄성해석을 수행하였다.

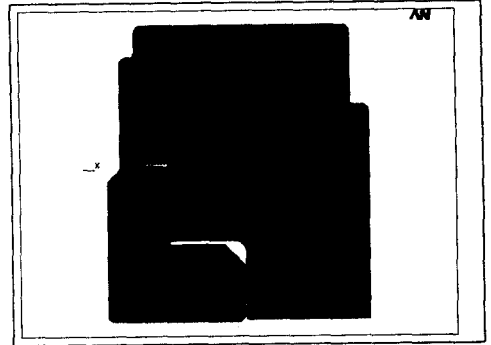


Fig. 6 Mesh configuration of die set

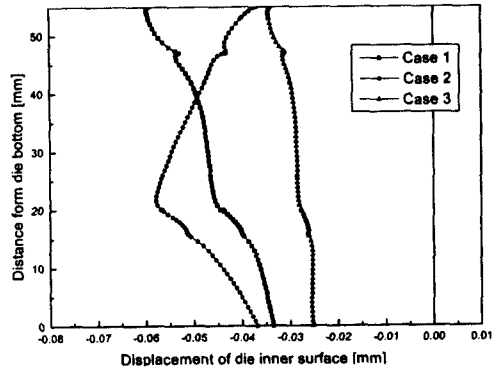


Fig. 7 Displacement of die inner surface after fitting

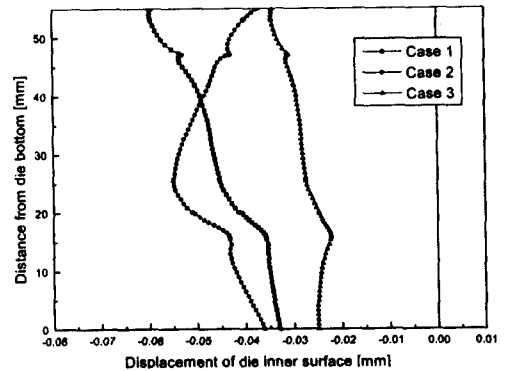


Fig. 8 Displacement of die inner surface at the final stage

Fig. 7과 8은 보강 후 및 단조 최종단계에서 다이 인서트 내면의 변형을 각각 나타낸 것이고 보강 전 형상에 대한 변위로 표현하였다.

초경 인서트와 초경 보강링을 사용한 Case 3의 경우, 가장 작은 변형을 보인다. 이는 다이 인서트와

경계면의 작용압력이 낮기 때문이다. Fig. 8은 성형 하중이 다이 인서트에 작용하는 단조 최종단계에 대한 결과이다. 다이 인서트 내면의 변형이 Case 3의 경우 가장 작다. 즉, 원래 금형의 치수에 대해 가장 작은 변형을 가지는 정밀금형임을 알 수 있다. 또한 초경 보강링을 사용한 Case 2 (다이 인서트 SKD11)인 경우가 Case 1 (다이 인서트 GTI50)보다 조금 큰 변형을 보인다. 그러므로 본 연구에서 제안한 정밀금형의 설계법, 첫번째 보강링의 강성을 높이는 방법으로 전체 금형의 강성을 높혀 금형의 변형을 최소화하는 방법의 타당성을 보이는 것이다.

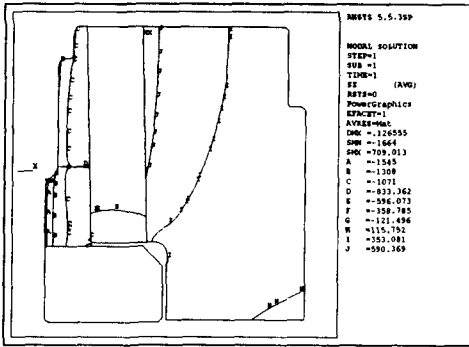


Fig. 9(a) Distribution of hoop stress after fitting

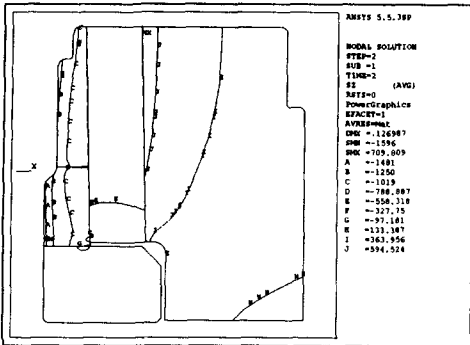


Fig. 9(b) Distribution of hoop stress at the final stage

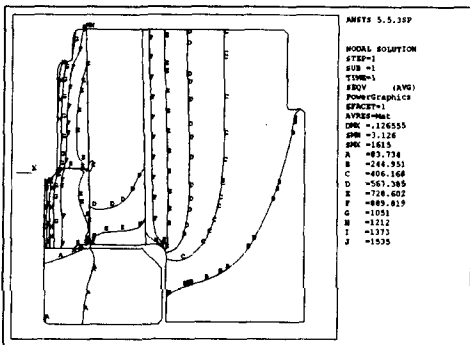


Fig. 10(a) Distribution of effective stress after fitting

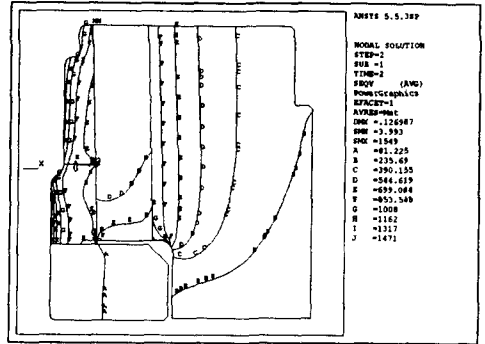


Fig. 10(b) Distribution of effective stress at the final stage

Fig. 9와 10에 Case 3의 보강 후 및 단조 최종단계에서의 원주방향응력과 등가응력을 각각 나타내었다. 다이 인서트에서 기존 설계인 Case 1보다 등가응력이 2272 MPa 보다 작은 1594 MPa로 29.8% 강도가 향상 효과가 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 첫 번째 보강링의 강성을 증가시키기 위하여 보강링의 재질을 초경으로하여 전체 금형의 강성을 증가시키는 방법으로 정밀금형 설계법을 제시하였다. Lamé의 식에 기초한 분할직경비 계산식을 제시하였으며, 반복적인 계산에 의해 간섭량을 결정하였다. 금형의 접촉을 고려한 탄성해석을 통해 다이 인서트와 첫 번째 보강링을 초경으로 한 경우 원래 금형 치수에 대해 가장 작은 변형을 가져 제안한 방법으로 정밀금형의 설계가 가능함을 확인하였으며 이때, 다이 인서트에 대한 강도 향상효과가 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- 허관도, 여홍태, 예상돈, "이중보강링으로 예압된 냉간 압출금형설계," 한국정밀공학회지, 제19권, 제10호, pp.77-82, 2000.
- 최재찬, "축대칭 다단 냉간단조의 공정 및 금형설계 자동화에 관한 연구," 1990.
- Adler, G. und Waler, K., "Berechnung von einfachen und mechifachen prespassungen," Ind. Anz., 89, Jg, Nr, 39, Vol.16, pp.21-25, 1967.
- I.C.F.G., "Calculation methods for cold forging tools," Document No. 5/82.
- DEFORM-2D Version 7.0 Labs Manual.
- ANSYS 5.5 Users Manual.