

이중 보강링으로 예압된 냉간압출 금형 설계

허관도*, 여흥태**, 예상돈**

Design of the Prestressed Cold Extrusion Die with Two Stress Rings

Kwan Do Hur*, Hong Tae Yeo**, and Sang Don Ye**

ABSTRACT

The design of the prestressed cold extrusion die with two stress rings has been performed in this study. The cold extrusion has been simulated by the rigid-plastic FEM. The stress analysis of die has been performed for both after shrink fitting and during extrusion by using the elastic FEM and the Lamé's equation. According to the variation of interferences and diameter ratios, the maximum effective stress has been evaluated. As results, interferences and diameters were determined by the minimization of the maximum effective stress of die insert. The comparison of the maximum effective stress between the proposed design and the conventional design has been discussed. It was found that the maximum effective stress in the die insert is considerably affected by the stiffness of the first stress ring.

Key Words : prestressed die(예압된 금형), interference(간섭량), diameter ratio(분할직경비), two stress rings(이중 보강링), maximum effective stress(최대등가응력)

1. 서론

일반적으로 냉간압출 금형은 높은 압력을 받게 되므로 하나 혹은 그 이상의 보강링으로 보강된 구조로 설계한다.

이와 같은 금형 설계방법은 크게 두 가지로 나누어진다. 고전적인 방법으로 두꺼운 원통의 해석 해인 Lamé 식(Lamé's equation)⁽¹⁾을 이용한 방법⁽²⁻⁴⁾과 현재 해석 기술의 발달에 의한 비선형 접촉을 고려한 유한요소해석 방법이다^(5,6). 첫 번째, Lamé 식을 이용한 기존의 방법은 보강링과 다이 인서트 사이에 작용하는 접촉압력이 보강한 후의 상태와 압출 중의 상태에서 동일한 값으로 평가하여 해석

하였기에 실제 작용하는 접촉압력을 구하기 어렵다. 두 번째, 비선형 접촉을 고려한 유한요소해석 방법은 컴퓨터의 발달과 해석 코드의 개발에 의해 해석의 신뢰성은 좋으나 비선형 해석 및 설계자가 중요시하지 않는 여러 개의 보강링까지 유한요소 해석함으로써 해석시간이 길어진다. 이에 이전 연구⁽⁷⁾에서 제안된 방법으로 보강링이 2개인 경우의 다이 인서트에서의 응력상태를 고찰하여 이중 보강링을 가진 금형의 간섭량(interference)에 따른 최대등가응력의 변화와 기존의 설계값과 비교하고 또한 직경변화에 따른 최대등가응력의 변화 및 간섭량을 관찰하고자 한다.

* 동의대학교 기계·산업시스템공학부 교수

** 동의대학교 일반대학원 기계공학과

2. 이중 보강링으로 예압된 금형의 응력해석

2.1 다이 인서트의 접촉압력 계산

다이 인서트와 보강링 사이의 접촉압력을 구하기 위해 금형에 발생하는 응력이 탄성범위 내에 있다면 하중과 변위는 중첩의 원리를 적용할 수 있다. 또한, 다이 인서트와 보강링은 변형 전후에 대해서 계속 접촉하고 있다고 가정하면 다이 인서트의 각 외곽요소의 외경과 보강링의 내경은 같게 된다⁽⁷⁾.

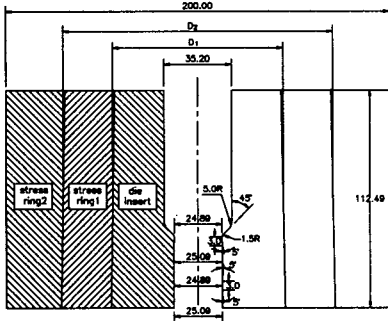


Fig. 1 Dimension of forward cold extrusion die

i 번째 층에서 다이 인서트와 첫 번째 보강링 사이의 접촉조건(contact condition)은 다음과 같다⁽⁸⁾.

$$\begin{aligned} r_1 + \delta_{r1} + U_i &= r_1 + U_i^s \\ \delta_{r1} + U_i &= U_i^s \end{aligned} \quad (1)$$

i 번째 층에서 첫 번째 보강링과 두 번째 보강링 사이의 반경에 대한 간섭량은 다음과 같다.

$$\delta_{r2} = \delta_{r2}^1 - \delta_{r2}^2 \quad (2)$$

다이 인서트와 첫 번째 보강링에서 중첩의 원리를 이용하여 j 번째 외곽요소에 접촉압력이 작용할 때, i 번째 외곽요소의 변위(U_i)는 다음과 같다.

$$U_i = U_i^s + \sum_{j=1}^n U_j^s \times P_j^s \quad (3)$$

식(1), (2) 및 (3)에 의해 접촉압력을 구하고, 이를 이용하여 다이 인서트만 탄성유한요소 해석하였다.

2.2 냉간 압출 공정의 성형해석

개발된 강소성 유한요소 코드를 이용하여 축대칭 냉간 전방압출 공정을 해석하였다.

가공소재는 풀림처리된 AISI 4340 합금이며 유

동응력식은 다음과 같다⁽⁹⁾.

$$\bar{\sigma} = 1151.43 \bar{\epsilon}^{0.193} \text{ [MPa]} \quad (4)$$

초기소재는 직경 35.2mm, 높이 35.2mm 인 봉재이다. 압출공정의 단면감소율은 50.0%이고 마찰상수는 $m=0.1$ 로 하였다. 금형의 치수는 Fig. 1과 같고, Fig. 2와 Fig. 3은 강소성 유한요소 해석결과이다.

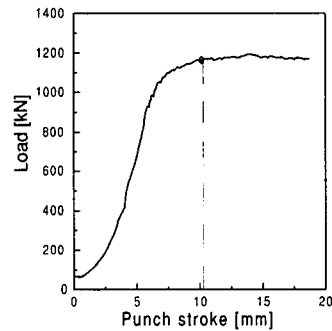


Fig. 2 Load-stroke diagram of the extrusion

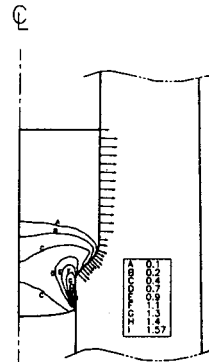


Fig. 3 Distribution of effective strain and pressures

3. 이중 보강링으로 예압된 압출 금형 해석 및 설계

예압된 금형의 재질은 Table 1과 같다. 금형 분할직경비와 간섭량은 다이 인서트에 작용하는 내압에 관계없이 다이 인서트의 내경과 금형의 외경을 알고 다이 인서트와 보강링의 항복강도를 알 때 Table 2와 같이 구할 수 있다⁽¹⁰⁾. 이 값은 최적 분할직경비와 간섭량을 구하는 초기값으로 이용된다.

Table 1 Material properties of the die

	Mat.	HrC	v	E(MPa)	S _V (MPa)
Die Insert	SKH9	65	0.3	220000	2450
Stress Ring 1	SKD61	35	0.3	212000	900
Stress Ring 2	SCM4	28	0.3	204000	700

Table 2 Design parameters of the die using conventional design

Diameter	D _i = 35.20 D ₂ = 103.14	D ₁ = 77.40 D _o = 200.00
Diameter ratio	Q = 0.176 Q ₂ = 0.7504	Q ₁ = 0.4548 Q ₃ = 0.5157
Interference	δ ₁ = 0.20052	δ ₂ = 0.08457

3.1 간섭량 변화에 따른 금형해석

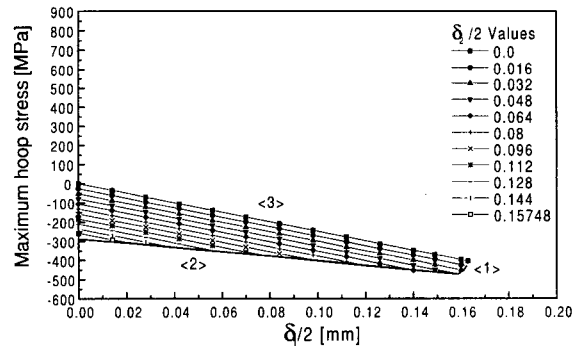
Fig. 4와 Fig. 5는 첫 번째 간섭량과 두 번째 간섭량을 달리 하였을 때 최대원주방향응력들을 나타낸 것이다. 예압된 금형의 경우 간섭량이 너무 크게 되면 보강링에 작용하는 접촉압력이 높아지게 되므로 이 접촉압력을 이용하여 보강링의 항복을 예측할 수 있다⁽¹⁰⁾. 그러므로 Fig. 4와 Fig. 5에서 간섭량의 변화에 따라 <1>은 첫 번째 보강링이 항복하는 한계영역이고, <2>는 두 번째 보강링이 항복하는 한계영역이다. 또한 <3>은 본 연구에서 가정한 접촉조건에 의해 각각의 고정된 간섭량이 0인 한계영역을 의미한다. 이 결과로 볼 때, 전반적으로 하나의 간섭량을 고정하고 다른 간섭량을 변화시켰을 때 최대원주방향응력은 선형적으로 변화하는 것을 알 수 있고, Fig. 4(b)와 Fig. 5(b)의 압출중에 가장 낮은 응력상태가 되는 간섭량을 총 가공차(tolerance)를 감안하여 선택하면 반경에 대한 간섭량(δ₁/2=0.14, δ₂/2=0.05)을 결정할 수 있다.

Fig. 6은 최대등가응력의 변화를 나타낸 것으로 원주방향응력에 의한 간섭량과 같음을 알 수 있다.

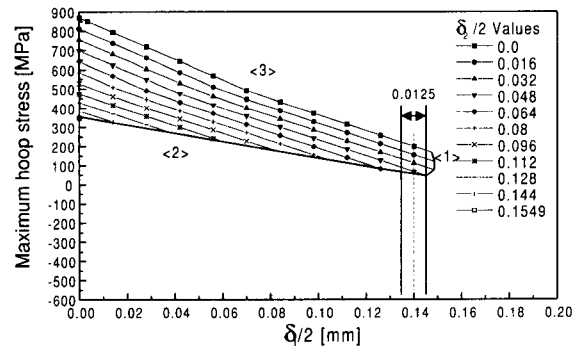
Fig. 7과 Fig. 8은 보강후와 압출시의 금형의 응력해석결과이다. Fig. 7에서 다이 인서트에 대해 좌측은 기존의 설계⁽¹⁰⁾, 우측은 새로이 결정된 간섭량에 의해 해석된 원주방향응력분포이다.

가공소재와 다이 인서트의 접촉부에서의 응력상태를 보면 새로이 결정된 간섭량의 해석 결과가 소재 접촉부에서 더 낮은 값을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 다이 인서트에서의 압출시의 최대등가응력이 1351.7MPa에서 1241.0MPa로 8.2% 감소하고, 최대정수압응력은 -1213.7MPa에서 -1300.3MPa로 옴으로 7.1% 증가하였다.

Fig. 8은 두 보강링의 응력상태로 반경방향응력이 더 높게 나타나므로 새로 결정된 간섭량에 의한 경우가 더 높은 예압이 작용하고 있음을 알 수 있다.

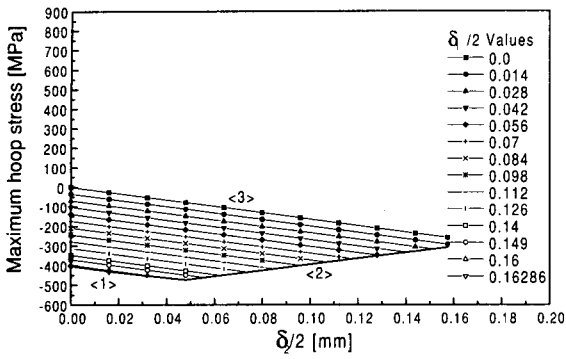


(a) after shrink fitting

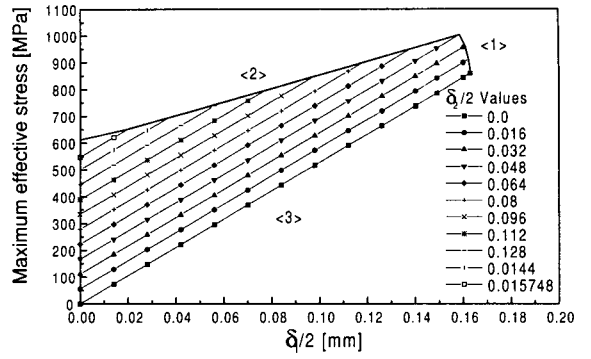


(b) during extrusion

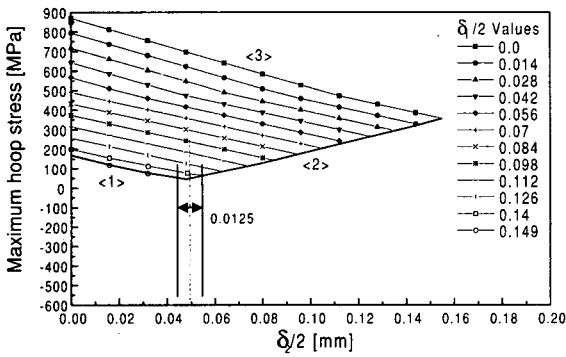
Fig. 4 Maximum hoop stress according to interferences(δ₁/2)



(a) after shrink fitting

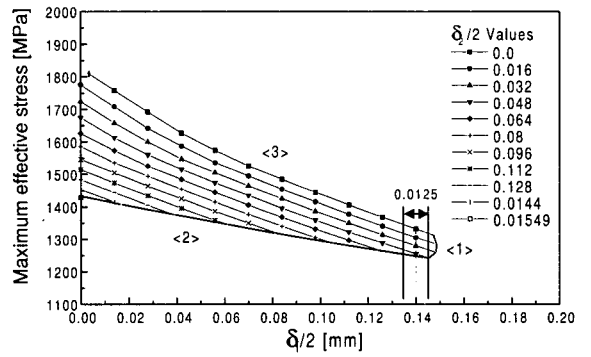


(a) after shrink fitting



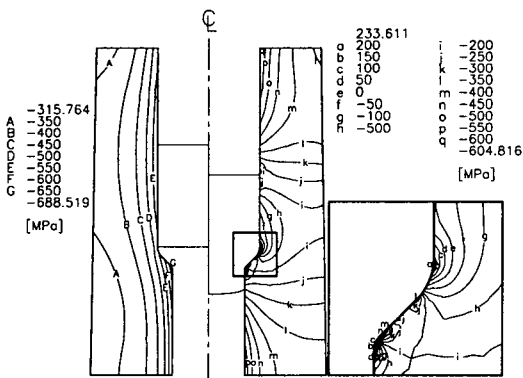
(b) during extrusion

Fig. 5 Maximum hoop stress according to interferences ($\delta_{1/2}$)

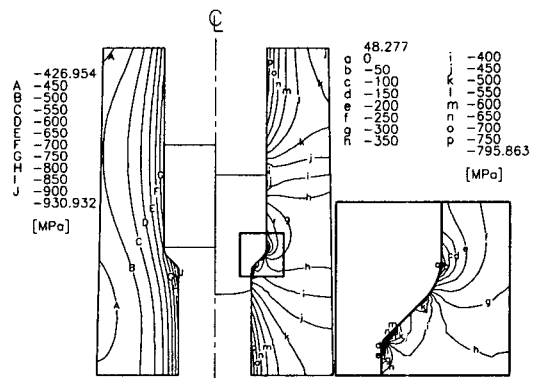


(b) during extrusion

Fig. 6 Maximum effective stress according to interferences ($\delta_{1/2}$)

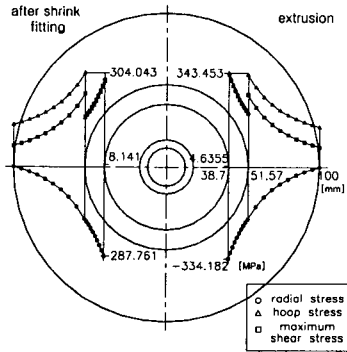


(a) conventional design

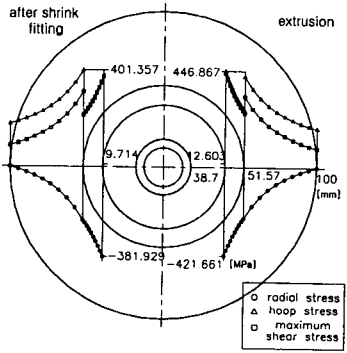


(b) proposed design

Fig. 7 Comparison of distribution of hoop stress



(a) conventional design



(b) proposed design

Fig. 8 Distribution of stresses in stress rings

이와같이 결정된 간섭량에 의해 압출시 다이 인서트의 원주방향응력 및 정수압응력이 압축응력상태로 증가하고, 최대등가응력은 낮아지므로 다이 인서트는 상대적으로 안전하다고 볼 수 있다.

3.2 이중 보강링으로 예압된 압출 금형 설계

Table 3은 여러 가지의 지름과 간섭량에 대해 최대등가응력이 가장 낮은 값과 간섭량을 나타내었다. 이 결과 D_1 이 67.056mm, D_2 가 117.854mm 인 경우가 가장 낮은 값을 얻을 수 있고 가공공차를 고려하여 간섭량을 선정하면 δ_1 이 0.22378mm 이고, δ_2 가 0.24566mm이며 이때 가장 낮은 최대등가응력 값 1181.253MPa을 얻을 수 있었다.

이 결과로 보아 첫 번째 보강링이 다이 인서트의 응력 상태에 지배적인 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 즉, 다이 인서트의 외경이 작아지고 첫 번째 보강링의 외경이 커지면 첫 번째 보강링의 강성이 높아지므로 본 연구에서 사용한 금형의 경우는

다이 인서트의 최대등가응력이 낮아지므로 다이 인서트 재료 절감 및 강도 향상의 효과를 얻을 수 있다. 또한 첫 번째 보강링의 두께가 커지므로 제어할 수 있는 간섭량의 범위가 넓어진다.

Table 3 Diameters and interferences of the die for analysis

D_i	D_o	D_1	D_2	δ_1	δ_2	$\bar{\sigma}_{max}$
35.2	200.0	67.056	96.4257	0.23594	0.18208	1188.353
			107.139	0.23614	0.19948	1169.196
			117.854	0.23680	0.25218	1162.489
		74.507	96.4257	0.26585	0.09092	1227.917
			107.139	0.27874	0.15238	1195.901
			117.854	0.27888	0.20852	1180.839
		81.957	96.4257	0.31738	0.03476	1287.992
			107.139	0.31758	0.09950	1240.408
			117.854	0.31774	0.15990	1213.950

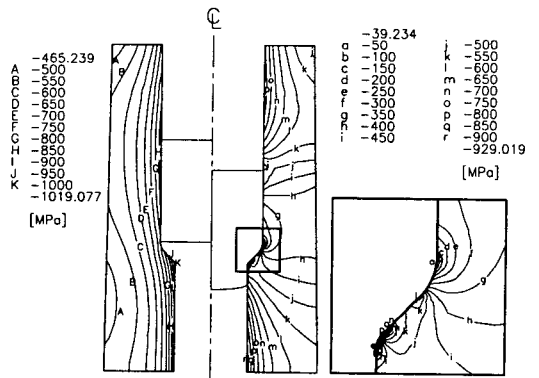


Fig. 9 Comparison of distribution of hoop stress

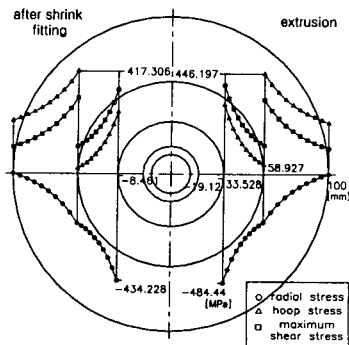


Fig. 10 Distribution of stresses in stress rings

Fig. 9, 10은 앞에서 선택한 조건으로 응력해석한 결과이다. Fig. 8과 각각 비교해 보면, 가공소재와 다이 인서트 접촉부에서의 응력상태는 첫 번째 보강링이 더 커진 경우가 더 낮은 원주방향응력분포를 나타내고 있음을 알 수 있고 더 높은 예압이 작용하므로 다이 인서트의 강성은 높아진다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 이중 보강링으로 예압된 금형을 설계하기 위한 해석방법을 제안하였다. 제안한 방법으로 첫 번째 간섭량과 두 번째 간섭량을 조절해서 최대원주방향응력과 최대등가응력값들을 찾아냈다. 이 결과를 이용하여 가공공차를 고려한 가장 낮은 최대등가응력 값을 갖는 간섭량들을 선택하고 금형을 응력해석하면 다이 인서트의 등가응력분포가 낮게 되었다. 또한 몇 가지 경우의 다이 인서트의 외경, 보강링 내·외경 및 간섭량 변화에 따른 최대등가응력이 가장 낮은 상태를 찾았다. 그 결과 다이 인서트의 응력상태는 첫 번째 보강링의 영향이 지배적이라는 것을 알 수 있었고, 첫 번째 보강링의 내경이 작아지고 외경이 커지게 되면 보강링의 두께가 두꺼워지므로 첫 번째 보강링의 강성이 높아지게 된다. 그러므로 다이 인서트의 강도를 향상시키고 더 낮은 최대등가응력상태를 만들 수 있었다.

이와 같은 방법으로 이중 보강링으로 예압된 금형의 응력해석을 통하여 간섭량을 결정할 수 있었고 다이 인서트와 두 보강링의 직경을 결정할 수 있었다. 이 결과 다이 인서트에 사용되는 고가의 금형 재료를 절감할 수 있으므로 재료비 절감과 보다 정확한 해석에 의한 생산으로 제품의 정밀도 향상에 기여할 수 있을 것이다.

후기

이 연구는 1999년도 동의대학교 학술연구비에 의하여 이루어졌습니다.

참고문헌

1. A. C. Ugral, S. K. Fenster, "Advanced Strength and Applied Elasticity," Second SI Ed., 1975.
2. 김태형, 김병민, 최재찬, "냉간단조의 정밀도 향상을 위한 금형해석 기법," 한국정밀공학회지, 제 12권, 제 1호, pp. 29-37, 1995.
3. 이낙규, "3차원 강소성 유한요소법을 이용한 차 단조공정 및 금형해석에 관한 연구," 한국과학기술원, 박사학위논문, 1992.
4. 최종용, 조해용, 박운수, 최재찬, "유한요소법을 이용한 비축대칭 부품의 단조 금형설계," 한국정밀공학회 '98년도 춘계학술대회논문집, pp. 579-582, 1998.
5. 서대운, 류찬호, 이민철, 전만수, "예압된 냉간단조 금형 세트의 유한요소해석," 대한기계학회 '98년도 춘계학술대회논문집 A, pp. 791-795, 1998.
6. 여홍태, 최영, 허관도, "예압된 금형의 유한요소해석," 대한기계학회부산지부 1998년도 춘계학술대회논문집, pp. 228-232, 1998.
7. 여홍태, 최영, 허관도, "유한요소법을 이용한 예압된 금형의 응력해석," 한국정밀공학회지, 제 16권 제 6호, pp. 114-122, 1999.
8. 허관도, 최영, 여홍태, "보강링으로 예압된 냉간 압출 금형 설계," 한국정밀공학회 1999년도 추계학술대회논문집, pp. 1040-1043, 1999.
9. T. Altan, S. I. Oh, H. L. Gegel, "Metal Forming: Fundamentals and Applications," American Society of Metals, Metals Park, Ohio, 1983.
10. 최재찬, "축대칭 다단 냉간단조의 공정 및 설계 자동화에 관한 연구," pp. 44-49, 1990.