

내부 치형 부품의 냉간단조 공정설계에 관한 연구

박준모*, 이현철(부산대 대학원 정밀기계공학과),
신동초(나라엠앤디), 김병민(부산대학교 기계공학부)

A Study on Process Design of Cold Forging for Inner Tooth Part

J. M. Park, H. C. Lee(Mechanical Eng. Dept., Pusan National University),
D. C. Sin(NARA M&D), B. M. Kim(ERC/NSDM., Pusan National University)

ABSTRACT

This paper discusses process design of cold forging for inner tooth part, drum clutch. In respect to high productivity, low material consumption and low piece production costs, Metal forming has more merits than machining process. Net shape forming is high technology which satisfies merits of metal forming and achieves high accuracy. Recently, net shape forming method widely applied because of high productivity, low material consumption and low piece production costs using press. In this study, the method which accuracy of drum clutch, automatic transmission part, can be improved is discussed. First, process variables for process design of drum clutch are selected, and then process design is accomplished using forming analysis method. From forming analysis, forming load, stress, unfling part is obtained, and comparing these results, optimal process design can be determined.

Key Words : Cold Forging(냉간단조), FE-simulation(유한요소해석), Process Design(공정설계), TRR(두께 감소율),

1. 서론

소성가공은 생산성이 높고, 재료소비율이 낮으며, 제품의 개당 생산비가 낮다는데 특징이 있다. 또한 소성가공에 의한 제품은 기계가공에 의한 제품보다 기계적 성질이 우수하다.⁽¹⁾ 최근에는 상품의 경쟁력 요구에 대한 부응으로 고부가가치의 소성가공기술의 개발이 기대되어지고 있다. 정밀단조(Net shape forming)는 위의 조건들을 충족시키면서 고정도화까지 이룰 수 있는 뛰어난 소성가공기술이라고 볼 수 있다.⁽²⁾ 정밀단조(net shape forming)기술의 한 부류로 기계가공부품의 판금화가 이루어지고 있는데 판금화 공법은 프레스 가공에 의한 높은 생산력과 재료특성에서 발생하는 경량화, 경량화에 따른 저코스트화가 가능하기 때문에 널리 적용범위가 확대되어지고 있다. 최근에는 판재의 딥 드로잉(deep drawing)기술을 받아들임으로써 고부가가치의 고정밀도 가공기술이 실용화 되어지고 있다.⁽³⁾ 현재 국내 자동변속기용 클러치류는 치형 전단계의 제품을 수입한 후 그로브 전조방식이나 호빙 및 치평으로 치형을 성형하고 있는데 이는 프레스 가공법에 비

해 생산성이 크게 떨어지며 그로빙 머신이나 호빙 머신등의 전용장비의 도입으로 인한 막대한 초기투자비용이 소요된다. 따라서 자동변속기용 클러치류에 대한 내부 치형부 냉간단조 공정을 개발하여 작업능률 및 생산성을 획기적으로 향상시키고 또한 제품의 고정도화를 실현하여 경쟁력을 높일 필요가 있다. 본 연구에서는 자동차 자동변속기용 클러치류의 내부 치형부 냉간단조 공정설계방법에 대해 알아보하고자 한다.

2. 연구 내용

2.1 해석 모델

자동 변속기의 구조는 크게 동력을 전달하는 토크 변환기, 토크 변환기의 보조 변속기로 사용되는 유성기어장치 및 클러치와 브레이크로 구성되어있다. 본 연구에서 개발하고자 하는 제품은 드럼 클러치로서 자동변속의 핵심부품인 클러치에 사용되는 제품이다. 드럼 클러치의 형상은 Fig. 1 과 같다. 드럼 클러치는 내치의 치수정밀도를 요하는 제품으로 기본 공법은 Fig. 2 에서와 같이 재료 내측에서

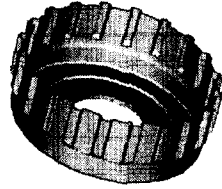


Fig. 1 3D Model of Drum Clutch

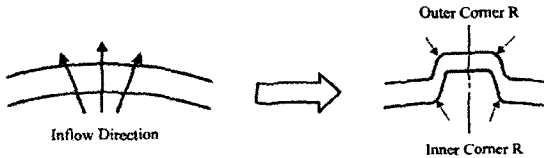


Fig. 2 Basic Forming Method of Drum Clutch

외측으로의 장출성형이다.

여기서, 내경코너 R 부에서 미충만부가 발생될 수 있는데 이는 치수정밀도에 영향을 미친다. 미충만으로 인한 내부 치형부의 치수가 정밀하지 못할 경우 다음과 같은 문제점이 발생할 수 있다.

- a. 내경의 동심도 및 직각도 오차에 의한 동력전달시 진동 및 소음발생
- b. 내경부 공차로 인한 축의 진동발생

이러한 문제점을 없앨 수 있는 방법은 내측에서 외측으로의 스프라인부 장출시 재료의 충만성을 높여 치수정밀도를 향상시키는 것이다. 그러나 재료의 충만성을 높이기 위해서는 성형하중 및 에너지가 커질 것으로 예상된다.

이에, 원통형 초기 소재로부터 치형을 성형하는데 있어서 치수정밀도를 높이면서 성형하중 및 에너지를 감소시킬 수 있는 적절한 공정변수의 선정이 필요하다. 본 연구에서는 두께 감소율을 공정변수로 선정하였고, 각 공정변수별 성형해석을 실시하였다. 성형해석을 통해서 나온 재료의 충만상태, 응력 및 성형하중을 비교하여 최적의 공정변수 값을 제시하였다.

2.2 공정변수의 선정

Fig. 3 및 Table 1 에서 보는 바와 같이 두께 T를 감소시키지 않은 경우와 0.2mm 아이어닝(ironing)시킨 경우의 2 가지 경우를 공정변수로 선정하였다. Table 1 의 두께 감소율 (TRR : Thickness Reduction Rate)은 식 (1)로부터 얻어진다.

2.3 해석방법

본 연구는 정밀 판금 프레스 가공 내부 치형성형으로서 두께 감소율에 따른 성형성, 치형 내, 외측의 충만도, 성형하중, 재료의 수직응력상태

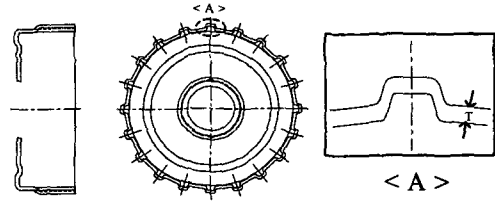


Fig. 3 Schematic drawing of Tooth Part

Table 1 Thickness Reduction Rate(TRR) of Tooth Part

Type	TRR(%)	T ₀ (mm)	T(mm)
A	0.0%	4.0	4.0
B	5.0%		3.8

$$TRR = \frac{(T_0 - T)}{T_0} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

(T₀: 초기소재두께, T: 성형 후 소재두께)

를 알아보려고 공정변수별 3 차원 성형해석을 수행하였다. 소재는 두께 4.0t 인 SAPH 370 을 사용하였고, 금형형상 및 초기 소재는 Fig. 3 과 같다. 본 해석은 3 차원 강소성 유한요소해석 모델을 수행하였다. 해석시간을 최소화하고, 불필요한 데이터양을 줄이기 위해서 1/40 단면 해석을 수행하였다. 해석은 강소성 유한요소 상용코드인 DEFORM 3D 를 이용하였다. 해석에 필요한 소재 및 공구모델은 Fig. 4 와 같다.

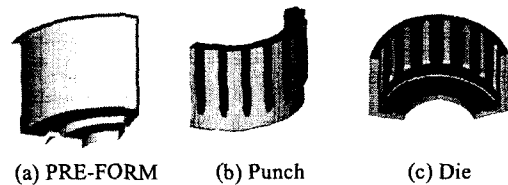


Fig. 4 3D Model of PRE-FORM and Dies

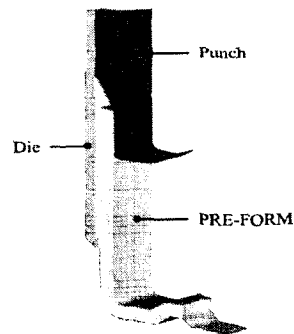
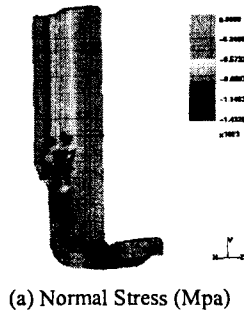
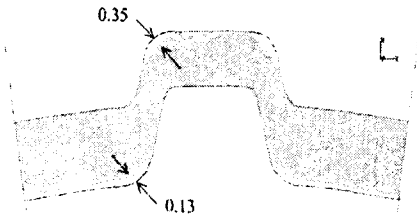


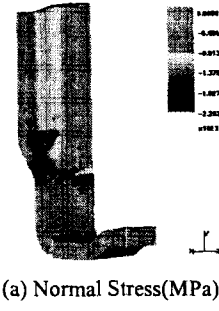
Fig. 5 3D Model for Forming Analysis



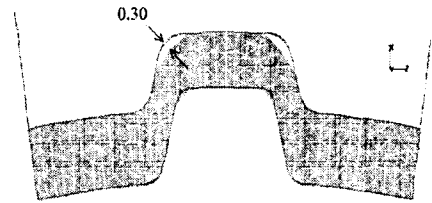
(a) Normal Stress (Mpa)



(b) Unfilling at Section (35mm)
Fig. 6 Forming Result of Type A



(a) Normal Stress(MPa)



(b) Unfilling at Section (35mm)
Fig. 7 Forming Result of Type B

3. 각 공정 변수별 해석결과

3.1 Type A 해석결과

성형하중을 줄이기 위해서 아이어닝(ironing) 시키지 않은 공정으로서, 해석결과는 Fig. 6 과 같다. 성형완료 후 수직응력은 1432.9Mpa, 바닥부에서 35mm 되는 지점의 단면을 잘라 보았을 때 외경코너 R 및 내경코너 R 의 미충만량은 각각 0.35mm, 0.13mm 로 나타났다

3.2 Type B 해석결과

외경방향 장출과 내측코너 R 부에서의 충만성 향상을 동시에 고려한 공정으로서 0.2mm 의 아이어닝(ironing), 즉 5%의 두께 감소율을 적용하였고, 그 결과는 Fig. 7 과 같다. 성형완료 후 수직응력은 2284Mpa로 Type A 보다 크게 나타났고, Type A 해석과 마찬가지로 바닥부에서 35mm 되는 지점의 단면을 잘라 보았을 때 내측코너 R 은 충만되었고, 외측코너 R 의 미충만량은 0.30 으로 나타났다.

3.4 성형하중 비교

성형완료 후 두가지 경우에 대해 성형하중을 비교해 본 결과는 Fig. 8 과 같다. 두께 감소율을 부여한 경우인 Type B 의 경우 최대하중이 1190kN 으로 두께 감소를 시키지 않은 경우인 Type A 의 경우는 584kN 으로 Type B 의 경우가 Type A 의 경우보다 약 2 배정도 높음을 확인할 수 있었다.

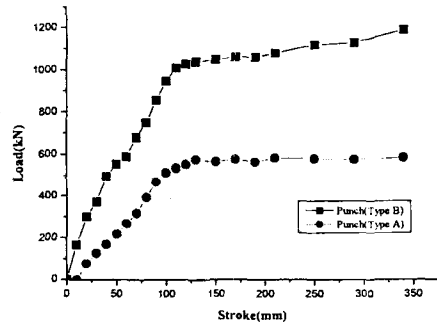


Fig. 8 Forming Load Graph

3.5 Type A 추가공정(Type A_1) 해석결과

Type A 의 경우 내측코너 R 부의 충만성은 좋으나 수직응력 및 성형하중이 급격하게 증가하므로 급형의 강도저하 및 수명감소를 유발할 수 있음을 예측할 수 있다. 이는 대량생산을 요하는 프레스가 공에는 부적합하므로 Type A 에서 미충만부를 제거하는 공정(Type A_1)을 추가하여 하중을 분산시키고 변형저항을 저하시킬 필요가 있다. 이에 Type A 에서 발생한 미충만부를 제거할 수 있는 아이어닝(ironing)량을 0.2mm 로 선정하였고, Table 2 의 두께 감소율은 식(2)로부터 구해진다. 이에 대해 성형해석을 수행하였으며 해석결과는 Fig. 7 과 같다. 성형완료 후 수직응력 및 성형하중은 각각 1265.6Mpa, 532kN 으로 Type A 보다 낮게 나왔으며, 바닥부에서 35mm 되는 지점의 단면을 잘라 보았을 때 내측코

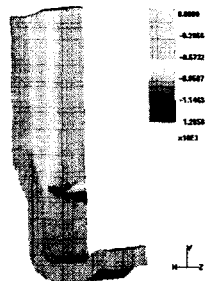
너 R 은 충만되었고, 외측코너 R 의 미충만량은 0.23 으로 Type B 보다 작음을 알 수 있었다. 3 장의 성형 해석결과와의 비교는 Table 3 과 같다. Type A 를 2 공정으로 나눌 경우 Type B 보다 충만성을 향상시키고 성형하중을 줄일 수 있음을 확인할 수 있었다.

Table 2 Thickness Reduction Rate of Type A_1

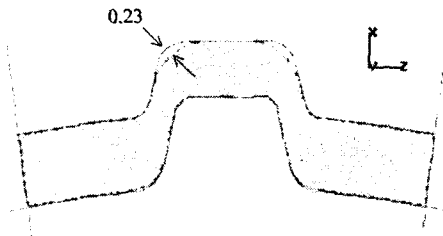
Type	TRR (%)	T ₁ (mm)	T ₂ (mm)
A_1	5.0 %	4.0	3.8

$$TRR = \frac{(T_1 - T_2)}{T_1} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

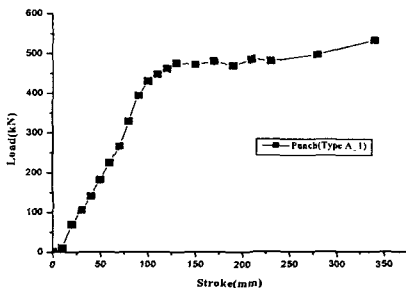
(T₁ : Type A 성형후 소재두께, T₂ : Type A_1 성형 후 소재두께)



(a) Normal Stress(MPa)



(b) Unfilling at Section (35mm)



(c) Forming Load

Fig. 9 Forming Result of Type A_1

Table 3 Comparison of Forming Result

Result Type	Normal Stress (MPa)	Load (kN)	Unfilling (mm)	
			Outer Corner R	Inner Conner R
A	1433	584	0.35	0.13
A_1	1266	532	0.23	-
B	2284	1190	0.30	-

4. 결론

본 연구는 드럼 클러치의 치형부 무절삭 성형에 있어서 영향을 미치는 두께 감소율을 공정변수로 선정하고 각각의 공정변수에 따라 성형해석을 수행하였다. 해석결과에 따른 결론은 다음과 같다.

- 1) Type B 의 경우 내측코너 R 부는 완전충만 되었지만 성형하중 및 수직응력값은 매우 크게 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 금형의 강도 및 수명 단축을 초래할 수 있다.
- 2) Type A 의 추가공정(Type A_1)을 실시한 결과, 내측코너 R 부를 완전충만 시키면서, 성형하중 또한 감소시킬 수 있었다. 결국, 드럼 클러치 내부 치형부 냉간단조 공정은 1 공정보다 2 공정이 최적임을 확인할 수 있었다.
- 3) 두께 감소율외에 편치 형상 및 윤활등 다양한 공정변수 선정 및 공정변수에 따른 최적설계방법이 연구되어야 할 것이다.

후기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소와 ㈜나라엠앤디의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Kurt Lange, "Modern metal forming technology for industrial production," Journal of Materials processing Technology, Vol. 71, pp. 2 - 8, 1997.
2. B.I.Tomov., and V.I.Gagov., "Modeling and description of the near-net-shape forging of cylindrical spur gears," Journal of Materials processing Technology, Vol. 92-93, pp. 448-449, 1999.
3. 前田 昭宏, 荒木 邦彦, "板金製 齒形部品の 成形技術," 日本塑性加工學會誌, 第 39 卷 第 445 號, pp.106-108, 1998