

원형빌렛으로부터 인볼루트 헬리컬 핀을 가진 제품의 비틀림 압출가공법에 관한 연구

박대윤*, 김한봉*, 진인태**

A Study of the Twisting and Extrusion Process of the Product with Involute Helical Fin from the Round Billet

Dae Yun Park*, Han Bong Kim*, In Tai Jin**

Abstract

The twisting and extrusion process of the product with involute helical fin from the round billet is developed by the upper bound analysis. The twisting of extruded product is caused by the twisted die surface connecting the die entrance section and the die exit section linearly. In the analysis, the internal shear surface is defined as the curved twisted plane from the twisting of die surface and the shear work is calculated by the consumption of shear energy. The increase rate of angular velocity is determined by the minimization of plastic work. The results of the analysis show that the angular velocity of the extruded product increases with the die twisting angle, the reduction of area, and decreases with the die length, the friction condition.

Key words: Extrusion(압출), the Twisting and Extrusion Process(비틀림 압출가공법)
Upper Bound Analysis(상계해석), Involute Helical Fin(인볼루트 헬리컬핀)

1. 서 론

인볼루트 치형을 가진 헬리컬 핀을 가진 제품의 압출 공정을 해석하기 위하여 압출가공과 비틀림가공을 동시에 할 수 있는 비틀림 압출가공법을 적용하였다. 비틀림 압출공정을 해석하기 위한 관련연구 사례로서는 異形材의 압출가공에 있어서 비정상변형을 木内등^{1),2)}이 해석한 연구를 토대로 압출가공중에 발생하는 비틀림해석에 관하여 저자^{3),4)}에 의해 연구된 바가 있다. 압출제품의 비틀림현상에 대해서는 Yang등^{5),6)}이 원형빌렛으로부터 타원단면을 가진 압출제품의 비틀림 해석을 비틀어진 경사형 금형을 사용하여 해석한

바 있고 木内등⁷⁾은 UBET를 사용하여 나선상부품의 압출해석을 해석한 바 있다.

나선형 인볼루트형의 핀을 가진 비틀림 압출제품의 압출시 속도불연속면이 존재한다고 가정하고 이 속도불연속면을 내부전단면이라고 정의할 때 비틀린 금형에서는 비틀어진 내부전단면이 있으며 이때의 전단면에서 일률의 계산이 추가 계산되어야 한다. 본 연구에서는 이 전단면을 비틀어진 곡면으로 정의하고 이 면에서의 속도분포를 계산함으로써 내부 전단면이 있는 제품의 일률계산을 가능하도록 하였다. 또한 비틀림 현상과 가공변수와의 관계 즉 금형 비틀림각, 금형길이, 마찰상수, 단면감소율 등의 가공변수의 변화에 따른 제품의 회전각속도와 압출압력과 관계를 기술한다.

* 부경대학원 기계공학과
** 부경대학교 기계 자동차공학부

2.비틀림 현상 해석용 3차원 동적가용속도장의 구성

2.1 인볼루트 치형 단면형상 함수식 및

다이 표면방정식

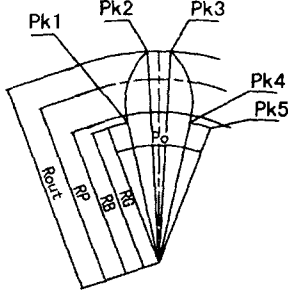


Fig.1 Die exit section

Fig.1은 금형출구단면의 기하학적 관계를 나타내고 관계식은 다음과 같고,

$$P_0 = \frac{2\pi}{Z} \quad RP = \frac{Z \times ZM}{2}$$

$$R_{out} = RP + ZM \quad RG = RP - 1.1570796 \times ZM$$

$$RB = RP \times \cos(\alpha) \quad (\alpha : \text{압력각})$$

금형의 표면방정식은 다음과 같이

$$r_{so}(\phi, y) = \frac{r_{so}(\phi + \phi_b(y)) - R_0}{Y_0} \cdot y + R_0$$

비틀림이 없는 표면식의 ϕ 각도에 ϕ_b 를 더한 식으로 y 의 함수로 가정하여 y 에 따라 선형적으로 비틀어진다고 가정하였다.

2.2 3차원 비틀림 동적가용속도장

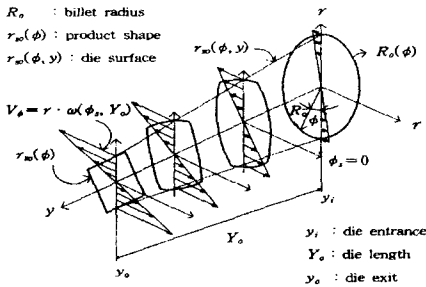


Fig.2 Rotational velocity distribution at each stage

체적흐름일정의 조건으로부터 축방향 속도는 식(1)와 같이 평균속도로 정식화 될 수 있다.

$$V_y(y) = V_0 \cdot \frac{\int_0^\pi r_{so}^2(\phi, y_i) \cdot d\phi}{\int_0^\pi r_{so}^2(\phi, y) \cdot d\phi} \quad \text{-----(1)}$$

압출제품의 비틀림 현상은 비틀어져 있는 금형

표면형상에 의해 발생하며 Fig.2처럼 금형중심축을 중심으로 회전 각속도가 선형적으로 증가하는 분포에 의해 비틀림이 발생하는 것으로 가정한다. 유동영역의 회전각속도식(2)는 형상에 따른 내부회전각속도식(3)과 기준면초기함수식(6)의 조합으로 나타낼 수 있으며

$$\omega(\phi, y) = \frac{1}{\int_0^{r_{so}(\phi, y)} r \cdot dr} \cdot \{ \Delta\omega(\phi, y) + f(y) \} \quad \text{-----(2)}$$

식(3)은 금형의 형상에 따라 발생하는 내부회전각속도를 나타내며 비틀어진 금형 형상에 따른 비틀어진 적분 구간은 식(4), (5)로 표시되며 축방향 길이 y 의 1차 함수이다. P_0 는 해석경계구간 각도를 나타낸다.

$$\Delta\omega(\phi, y) = \int_{\phi_1(y)}^{\phi_2(y)} \left\{ \int_0^{r_{so}(\phi, y)} r \cdot \frac{\partial V_y(r, \phi, y)}{\partial y} \cdot dr + r_{so}(\phi, y) \cdot V_y(r_{so}(\phi, y), \phi, y) \cdot \frac{\partial r_{so}(\phi, y)}{\partial y} \right\} d\phi \quad \text{-----(3)}$$

$$\phi_1(y) = \frac{TW}{Y_0} \cdot y \quad \text{-----(4)}$$

$$\phi_2(y) = P_0 + \frac{TW}{Y_0} \cdot y \quad \text{-----(5)}$$

이러한 회전각속도분포에 금형이 비틀어져 있는 방향으로 비틀어진 기준면을 중심으로 기준면 초기회전함수 식(6)을 더함으로써 압출제품이 비틀어져 압출될 경우의 회전 속도분포를 구할 수 있다. 기준면 초기회전함수는 식(6)에서 T_1 는 축방향의 길이(y)에 따른 비틀림 각속도의 증가율을 나타내고 T_2 는 금형입구에서 금형출구까지 일정한 비틀림 각속도분포를 나타내며 T_1, T_2 는 압출압력을 최소로 하는 값으로 결정한다.

$$f(y) = T_1 \cdot y + T_2 \quad \text{-----(6)}$$

위의 각속도를 대입하여 회전방향의 속도 분포를 식(7)과 같이 가정한다.

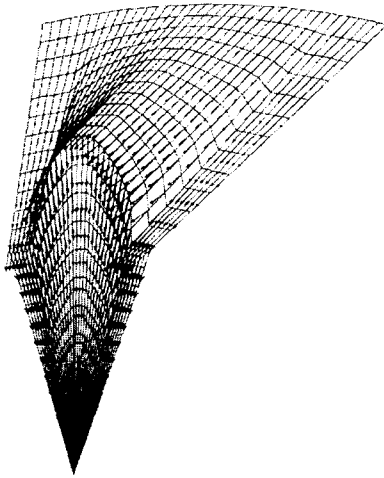
$$V_\phi(r, \phi, y) = r \cdot \omega(\phi, y) \quad \text{-----(7)}$$

상기의 두 속도 V_y 와 V_ϕ 에 따라 반경방향속도 $V_r(r, \phi, y)$ 를 구하면 식(8)과 같이 표시할 수 있다.

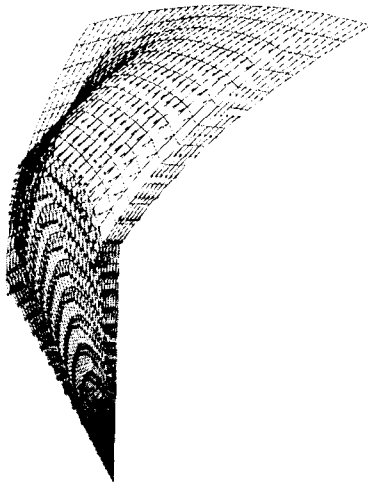
$$V_r(r, \phi, y) = -\frac{1}{r} \times \int_0^r \left\{ r \cdot \frac{\partial V_y(r, \phi, y)}{\partial y} + \frac{\partial V_\phi(\phi, y)}{\partial \phi} \right\} dr \quad (8)$$

3. 인볼루트곡선을 가진 제품의 해석결과 및 고찰

3.1 비틀어진 금형 및 출구단면에서의 속도분포



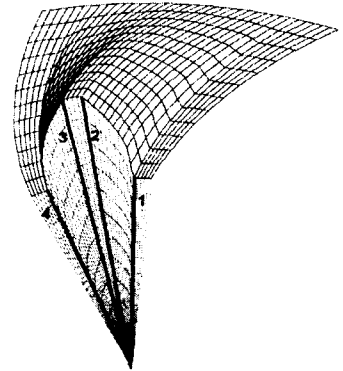
a) Tooth number Z=12 and Twisting angle TW=0°



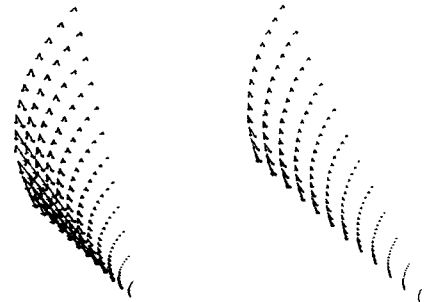
b) Tooth number Z=12 and Twisting angle TW=15°
Fig.3 Velocity distribution on die surface and die exit section

Fig.3는 잇수가 12개인 경우의 금형표면과 출구단면의 속도분포를 보여주는 것으로 a)는 비틀림이 없는 경우이고 b)는 15° 만큼 비틀어진 경우의 속도분포를 보여주고 있다.

3.2 비틀어진 내부전단면에서의 속도분포

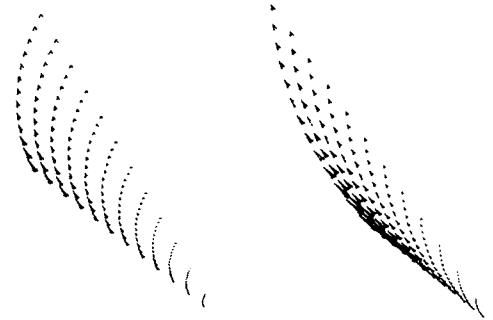


a) Internal shear surface (TW=15°)



b) surface 1

c) surface 2



d) surface 3

e) surface 4

Fig.4 Velocity distribution on internal twisted shear surface

Fig.4은 잇수12개이고 금형이 15° 만큼 비틀려 있을 때의 비틀어진 내부전단면에서의 속도 분포를 나타낸다. a)는 각 모서리를 중심으로 4개의 전단면을 표시하며 b), c), d), e)에서는 각각의 내부전단면에서의 두 개의 속도분포가 존재함을 나타내고 이러한 상대미끄럼속도에 의한 내부전단일의 존재를 보여준다.

4. 가공변수에 따른 해석결과

4.1 비틀림각에 따른 압출압력과 회전각속도

Fig.5는 비틀림각과 단면감소율의 변화에 따른

회전각속도와 압출압력의 관계를 나타낸다. 비틀림각과 단면감소율이 커짐에 따라 압출압력이 커지고 비틀림각이 커짐에 따라 회전각속도가 커짐을 알수있다.

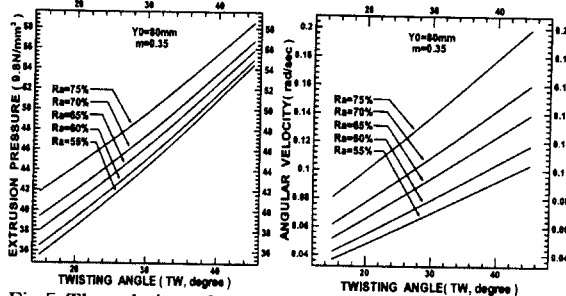


Fig.5 The relation of twisting angle and angular velocity and pressure

4.2 금형길이에 따른 압출압력과 회전각속도

Fig.6는 금형의 길이와 단면감소율에 따른 압출압력과 회전각속도의 관계를 나타낸 것이다. 압출압력은 금형의 어떤 일정 길이에서 최소의 압출압력을 나타내는 것을 나타내고 금형의 길이가 작을수록 회전각속도가 커짐을 알수있다.

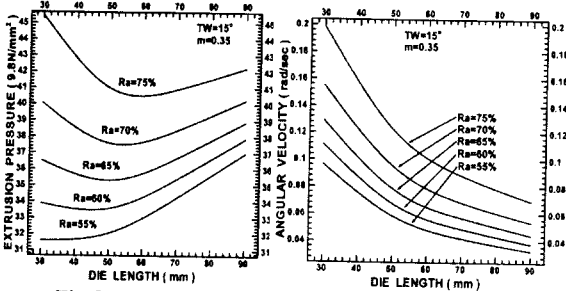


Fig.6 The relation of die length and pressure and angular velocity

4.3 마찰상수에 따른 압출압력과 회전각속도

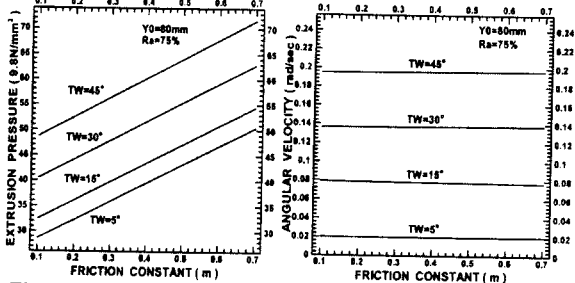


Fig.7 The relation of friction constant(m) and prssure and angular velocity

Fig.7은 마찰상수(m)의 변화에 따른 압출압력과 회전각속도의 관계를 나타낸 것이다. 마찰상수가 커질수록 압출압력이 선형적으로 증가하고 비틀림각이 커짐에 따라 압출압력이 증가한다. 회전

각속도는 마찰상수(m)의 변화에 따라 거의 변화가 없음을 보여주고 있다.

5. 결론

출구단면 형상이 인볼루트 핀을 가진 제품에 대하여 비틀어진 금형 표면을 사용한 압출공정을 해석하기 위하여 동적가용속도장을 구성하였다. 이 속도장은 금형 출구단면의 비틀림 회전각속도를 변수로 하여 비틀어진 금형표면에서의 마찰일과 비틀어진 내부전단면에서의 전단일을 포함한 소성일을 최소로 하는 각속도를 구하여 압출가공중에 발생하는 비틀림 회전각속도를 예측 가능하도록 하였다. 비틀림을 발생시키는 중요변수로서는 금형의 비틀림각이며, 비틀림각이 클수록 비틀림이 크게 되었고 선형적으로 증가함을 알 수 있었다. 그리고 단면 감소율이 클수록, 금형길이는 짧을수록 비틀림이 커짐을 알 수 있었고, 마찰상수에 따른 압출제품의 비틀림 영향은 크지 않았다.

참고문헌

- (1)Manabu Kiuchi,Michihiko Hoshino,Shigeo Iijima, 1989, "Simulation of Unsteady Flow of Workpiece in Non-Axisymmetric Extrusion Process 1", Journal of the JSTP, Vol.30, No.336, p.43~50
- (2)Manabu Kiuchi, In-Tai Jin, Ken SHINTANI, 1996, "Prediction of Curvature of Extruded T-Shape Products", Journal of the JSTP, Vol.37, No.426, p.711~716
- (3)김한봉,진인태 1998, "상계해법에 의한 압출가공의 비틀림 해석", 한국소성가공학회지 Vol.7, No.4, p.340~346
- (4)김한봉,진인태 1999, "원형빌렛으로부터 나선형 사다리꼴 핀을 가진 제품의 비틀림 압출가공법에 관한 연구", 한국소성가공학회지 Vol.8, No.2, p.143~151
- (5)Yang,D.Y.,Kim,M.U. & Lee,C.H.,1978, "An Analysis for extrusion of helical shapes from round billet",Int. J.Mech. Sci., 20, p.695
- (6)Yang D.Y "Analytical and Experimental Investigation Into Lubricated Three-Dimensional Extrusion of General Helical Sections" CIRP, Vol.15/1, p.169~172
- (7)Toshihiro Imai, Manabu Kiuchi, Tsuyoshi Muramatsu, 1991, "Analyses of Helical Shaped Extrusion 1", Journal of the JSTP, Vol.32, No.370, p.1403