

드릴에 발생한 구성인선이 토오크에 미치는 영향

김진무

기계공학과

(1981. 4. 10 접수)

〈요약〉

드릴링시 드릴에 구성인선의 발생을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우에 주절삭날에 작용하는 토오크를 각각 구하고 이 값들이 전체토오크에 차지하는 비율을 고려하여 전체토오크에 대한 비율 구했다. 그 결과 구성인성을 고려해서 실제유효경사각을 이용하여 구한 전체토오크가 구성인선의 발생을 고려하지 않고 유효경사각과 수직경사각을 사용해서 구한 전체토오크 보다 약 5%와 10%가 작다는 것을 알았다.

The Effect of Drill Built-Up Edge on the Torque

Kim, Jin-Moo

Dept. of Mechanical Engineering

(Received April 10, 1981)

〈Abstract〉

In drilling, torques acting on the main cutting edges are calculated under the conditions with and without the built-up edge on a drill respectively and by considering the percentages of these values to the total torque, the ratios of the total torque of the former to the total torques of the latter are computed. The result is obtained that the total torque computed by the real effective rake angle with the built-up edge is about 5% and 10% less than the total torques by the effective rake angle and the normal rake angle without the built-up edge.

I. 서론

드릴링에서 드릴의 절삭속도와 수직경사각(normal rake angle)은 주절삭날(main cutting edge)에 따라 변한다. 즉, 드릴의 중심에서 바깥으로 갈수록 절삭속도와 수직경사각은 커진다. 드릴의 절삭속도를 드릴의 외경을 기준으로 할 때 일반적으로 사용하는 절삭속도의 범위는 단인공구에서 구성인선(built-up edge)이 발생하는 임계속도이하이다. 따라서 드릴의 주절삭날에서 절삭속도도 임계속도이하이고 드릴링시 드릴에 구성인선이 발생하는 것이 보통이다. 드릴에 구성인선이 발생하면 수직경사각과 실제유효경사각(real effective rake angle)은 주절삭날에 따라 서로 다른 값을 가지게 되고⁽¹⁾ 수

직경사각을 이용하여 이론적으로 전체토오크를 구한 값에 차이를 나타내게 된다. 드릴링시 드릴에 작용하는 토오크는 주절삭날과 랜드(lands)에 기인한다. 랜드에 작용하는 토오크에 의한 영향은 랜드의 마모가 일정한 어떤 양에 이를 때까지는 작으므로 무시될 수 있다. 절삭날에는 주절삭날과 치끝에지(chisel edge)의 절삭날로 나눌 수 있다. 주절삭날에 작용하는 토오크는 Shaw와 Oxford에 의해 발표된 바에 의하면 전체토오크의 약 85%정도이다.⁽²⁾

본 보고서에는 드릴에 발생한 구성인선을 고려하지 않고 수직경사각과 유효경사각(effective rake angle)을 사용하여 주절삭날에 작용하는 토오크를 각각 구한 값과 구성인선을 고려하여 실제유효경사각을 이용하여 주절삭날에 작용하는 토오크를 구한

값의 비(比)를 구하여 드릴에 발생한 구성인선이 전 체토오크에 미치는 영향을 고찰하였다.

II. 이론 해석

드릴에 의한 절삭모형을 단인공구에 의한 2차원 절삭으로 가정하여 주절삭날의 미소요소에 작용하는 힘을 Fig.1과 같이 표시하였다.

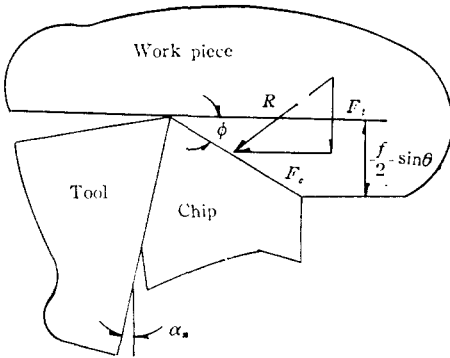


Fig. 1 2-dimensional cutting model of an element of the main cutting edge

Fig.1에서 R 은 주절삭날의 미소요소(폭 $\Delta\omega$)에 작용하는 합력, F_c 와 F_t 는 각각 주분력과 배분력, f 는 이송속도이다. Fig.1에서 주분력 F_c 는

$$F_c = \frac{\tau_s f \Delta\omega \sin\theta \cos(\beta - \alpha_n)}{2 \sin\phi \cos(\phi + \beta - \alpha_n)} \quad (1)$$

과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 τ_s 는 전단응력, 2θ 는 선단각, β 는 마찰각, α_n 은 수직경사각, ϕ 는 전단각이다.

Merchant에 의하면 전단각 ϕ 는 식 (2)와 같이 사용할 수 있다.

$$\phi = \frac{\pi}{4} + \frac{\alpha_n}{2} - \frac{\beta}{2} \quad (2)$$

또 Finnie와 Shaw에 의하면 2차원절삭에서 마찰각 β 는 수직경사각과 식 (3)과 같은 관계를 가진다고 제안하였다.⁽³⁾

$$\beta = A + \frac{\alpha_n}{2} \quad (3)$$

여기서 A 는 상수이고 $\frac{\pi}{6}$ (rad)로 가정한다.

식 (2)와 식 (3)으로부터 전단각 ϕ 는 식 (4)와 같이 된다.

$$\phi = \frac{\pi}{6} + \frac{\alpha_n}{4} \quad (4)$$

식 (1)에 식 (3)과 식 (4)를 대입하면

$$F_c = \frac{\tau_s f \Delta\omega \sin\theta}{2} \cdot \frac{\cos\left(\frac{\pi}{6} - \frac{\alpha_n}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{6} + \frac{\alpha_n}{4}\right) \cos\left(\frac{\pi}{3} - \frac{\alpha_n}{4}\right)} \quad (5)$$

로 된다. 드릴의 주절삭날에서의 수직경사각은 식 (6)으로부터 구할 수 있다.⁽⁴⁾

$$\tan \alpha_n = \frac{(\rho^2 - \lambda^2 \sin^2\theta) \tan \gamma}{\rho \sqrt{\rho^2 - \lambda^2} \sin\theta} - \frac{\lambda \cos\theta}{\sqrt{\rho^2 - \lambda^2}} \quad (6)$$

여기서 λ 는 웨브의 두께/드릴의 외경($2R$), $\rho = r/R$ (r 은 드릴의 중심선에서 주절삭날상 임의의 점까지 수직거리), γ 는 드릴의 반경이 r 일 때 나선각이다.

주절삭날의 미소요소 $\Delta\omega$ 에 작용하는 토오크 T_s 는 드릴의 중심선에서 $\Delta\omega$ 의 중점까지의 수직거리를 r_m 이라 하면

$$T_s = F_c \cdot r_m \quad (7)$$

과 같이 된다. 주절삭날에 작용하는 토오크의 합 T 는 식 (8)과 같다.

$$T = n \sum_{\rho=0.15}^{\rho=0.95} T_s \quad (8)$$

여기서 n 은 드릴의 주절삭날의 수이다.

III. 결과 및 고찰

식 (6)을 이용하여 드릴의 주절삭날에 따른 수직경사각을 $2\theta = 118^\circ$, $\lambda = \frac{1}{8}$, $\gamma = 30^\circ$ (드릴의 외경에서 나선각)로 했을 때 구하여 나타내고, 실험된 칩의 유동각을 이용하여 구한 유효경사각과 드릴에 구성인선이 발생했을 때 실제유효경사각을 각각 나타낸 것이 Fig.2이다.

Fig.2로부터 실제유효경사각은 드릴의 주절삭날에 따라 거의 일정함을 알 수 있고, 수직경사각 및 유효경사각과 비교하면 드릴의 외경에서는 거의 같고 중심으로 갈수록 차이가 커짐을 나타내고 있다. Dolodarenko에 의하면 주절삭날에 따른 실제유효경사각은 드릴의 직경에 따라 근소한 차이가 있을 뿐 거의 일정한 것으로 보고 된 바가 있다.⁽¹⁾

그래서 본 보고서에서는 드릴의 주절삭날에 구성인선이 생긴 경우 실제유효경사각을 드릴의 외경에서

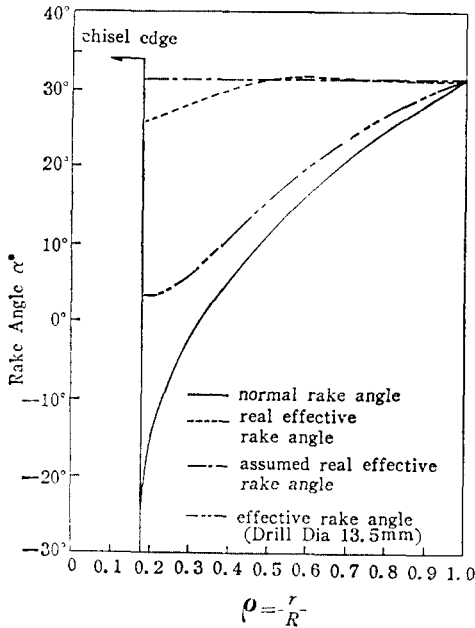


Fig. 2 Relations between ρ and the rake angle along the main cutting edge

수직경사각과 같은 것으로 가정하였다.

Fig. 2에서 유효경사각과 실제유효경사각은 드릴의 외경이 13.5mm인 고속도강재·트위스트 드릴로 AISI-1045재료를 전삭속도 17m/min로 드릴링시 Dolodarenko 가 실험에 의해서 구한 것을 나타낸 것이다.

Fig. 2의 주절삭날에서의 수직경사각, 유효경사각 및 가정한 실제유효경사각을 사용하여, 식 (5)의 미소소스에 작용하는 주분력 F_c 를

$$F_c / (\tau_s f \Delta \omega \sin \theta / 2) = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{6} - \frac{\alpha_n}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{6} + \frac{\alpha_n}{4}\right) \cos\left(\frac{\pi}{3} - \frac{\alpha_n}{4}\right)}$$

로 놓고 주절삭날에 따라 구한 값을 나타낸 것이 Fig. 3이다.

Fig. 4는 식 (7)의 미소소스에 작용하는 토오크 T_e 를 드릴의 반경 R 로 나눈 후

$$T_e / (\tau_s f \Delta \omega R \sin \theta / 2) = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{6} - \frac{\alpha_n}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{6} + \frac{\alpha_n}{4}\right) \cos\left(\frac{\pi}{3} - \frac{\alpha_n}{4}\right)} \cdot \frac{r_m}{R}$$

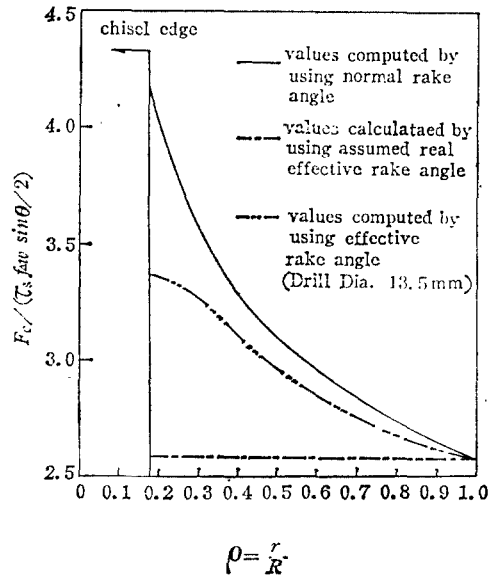


Fig. 3 Relations between ρ and $F_c / (\tau_s f \Delta \omega \sin \theta / 2)$ along the main cutting edge

로 놓고 Fig. 2의 수직경사각, 유효경사각 및 실제 유효경사각을 대입하여 얻은 값을 도시한 것이 Fig. 4이다.

Fig. 4에서 3곡선 아랫부분의 면적에 각각 $\tau_s f \Delta \omega R \sin \theta / 2$ 를 곱하면 드릴에 구성인선을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우 주절삭날에 작용하는 토오크를 각각 구할 수 있다. 3곡선 아랫부분의 면적은 구성인선을 고려한 경우에는 12.7, 구성인선을 고려하지 않고 유효경사각과 수직경사각을 사용한 경우에는 각각 13.5, 14.2이다. 3경우 주절삭날에 작용하는 토오크의 비 $\eta_1 = \frac{12.7}{13.5} \approx 0.94$, $\eta_2 = \frac{12.7}{14.2} \approx 0.89$, 즉 구성인선을 고려한 경우가 구성인선을 고려하지 않은 경우보다 주절삭날에서의 토오크는 각각 약 6%와 11%정도 적다.

전체토오크에 미치는 영향은 주절삭날에서의 토오크가 전체토오크의 약 85%정도인 것으로 하면 구성인선을 고려한 경우 전체토오크는 구성인선을 고려하지 않고 유효경사각을 이용하여 구한 전체토오크는 보다는 약 5% ($6\% \times 0.85 \approx 5.1\%$), 구성인선을 고려하지 않고 수직경사각을 사용하여 구한 전체토오크보다는 약 10% ($11\% \times 0.85 \approx 9.4\%$) 정도 각각 작은 값을 나타내고 있다.

각각 23%, 9%, 15%정도 작은 값이었다.⁽⁶⁾

IV. 결 론

드릴링에서 드릴에 구성인선이 생기는 것이 보통이고 구성인선으로 인해 실제유효경사각은 주절삭날에서 유효경사각 및 수직경사각보다 커지며 그 결과로 구성인선을 고려하여 실제유효경사각을 사용해서 구한 전체토오크는 구성인선을 고려하지 않고 유효경사각과 수직경사각을 이용하여 구한 전체토오크보다 각각 5%와 10%정도 작아짐을 알았다.

참 고 문 헌

1. Dolodarenko, A.G., "Effects of Built-Up Edge in Drilling," ASME, Paper No. 75-WA/Prod.-17.
2. Shaw, M.C., C.J. Jr. Oxford, "On the Drilling of Metals-II. The Torque and Thrust in Drilling," Trans. ASME, Vol.79, 1957, p.139-148.
3. Finnie, I., M.C. Shaw, "The Friction Process in Metal Cutting," Trans. ASME, Vol.78, 1956. pp.1649-1657.
4. Amarego, E.J.A., R.H. Brown, The Machining of Metals, Prentice Hall, Inc. p.193. (1969)
5. Williams, R.J., "A Study of Drilling Process," ASME, paper, No. 73-WA/Prod.-6.

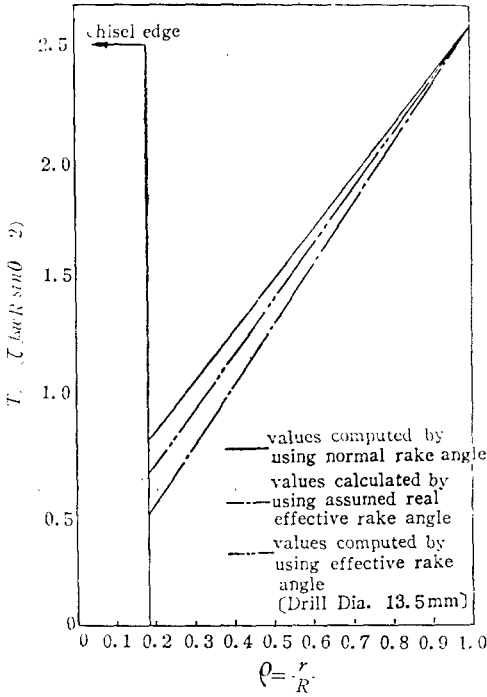


Fig.4 Relations between ρ and $T_e/(\tau_s f \Delta \omega R \sin \theta/2)$ along the main cutting edge

Williams가 외경이 각각 0.5", 0.625", 0.75"인 드릴을 사용하여 실험을 통해서 구한 전체토오크는 이론적으로 치즐에지의 절삭날에 작용하는 토오크와 식 (7)에 수직경사각을 이용하여 주절삭날에 작용하는 토오크를 각각 구하여 합한 전체토오크보다