

INFLUENCIA DE LA RAZON DE CORTE Y ANGULO DE DESPRENDIMIENTO SOBRE LAS FUERZAS EN EL CORTE

*Luis Miguel Sarache B.
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica
Departamento de Tecnología y Diseño
Mérida - Venezuela*

RESUMEN

Se estudia la influencia de la razón de corte y el ángulo de desprendimiento de la herramienta en un proceso bidimensional de corte (corte ortogonal), aplicando la teoría de Ernst y Merchant¹, referida al ángulo de cizalladura y como se cambian las fuerzas presentes simultáneamente en el proceso cuando los dos factores anteriores son modificados.

Se presenta un conjunto de figuras en las cuales se puede apreciar el efecto de la razón de corte y del ángulo de desprendimiento sobre la magnitud de las fuerzas existentes en el proceso. Considerando que la fuerza de corte es unitaria y utilizando el plano de cizalladura, se observa el efecto independiente sobre cada fuerza.

Se demuestra que la fuerza de fricción que actúa sobre la cara de la herramienta aumenta con el aumento del ángulo de desprendimiento, lo que concuerda con los resultados experimentales² que relacionan el ángulo medio de fricción y el de desprendimiento.

-
1. ERNEST, H. y M.E. MERCHANT: Chip Formation and High Quality Machined surface, en "Surface treatment of metal", American Society of Metals, New York, Vol. 29, pág 299, 1941.
 2. PUGH, H.D.: Mechanics of the Cutting Process, Proc. IME Conf. Tech. Eng. Manufacture, pág. 237, Londres, 1958.

INTRODUCCION

Desde que Taylor³ estableció que la temperatura existente en el filo de la herramienta controlaba el desgaste de la misma por unidad de tiempo, incentivó a los investigadores sobre el estudio más profundo del mecanismo de corte y la influencia individual y colectiva de los factores incidentes en el calor producido, tales como magnitud de las fuerzas, velocidades, ángulos en la herramienta, razón de corte, etc.

Este trabajo de corte ortogonal es considerado como un modelo de formación de viruta que transforma el proceso de corte tridimensional complejo en un caso bidimensional relativamente sencillo, ya que el filo de la herramienta es perpendicular a la dirección del movimiento relativo entre la pieza y herramienta, es de notar que en éste no se considera el filo como una superficie cilíndrica⁴ que une el flanco con la cara de la herramienta, ya que el objetivo escapa a la posibilidad de estudiar las fuerzas de penetración.

Se establece un camino analítico basándose en el diagrama de fuerzas para corte ortogonal (Ver Figura nº 1), modelo éste de formación de viruta continua idealizado y utilizado por Ernst y Merchant, y del cual se desprenden las ecuaciones básicas de fuerzas y esfuerzos sobre las cuales la razón de corte y el ángulo de desprendimiento poseen notable incidencia, de allí que con este estudio es posible ver a través de las figuras como o en qué medida las fuerzas son modificadas y a su vez influyen sobre otros aspectos como son: acabado superficial, desgaste y potencia consumida en el corte.

-
3. TAYLOR, F.W.: "On the Art. of Cutting Metals", Trans. ASME, Vol. 28, pág. 31, 1906.
 4. TOUPS, R.M.: "An Analysis of the Natural Sharpness Radius of Cutting Tools", Tesis Magistral, Department of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Serp., 1961.

Se demuestra analíticamente que las magnitudes de las fuerzas de empuje y normal a la cara de la herramienta disminuye notablemente, a tal grado que permitiría una anulación de la fuerza de empuje para valores de razón corte para valores muy elevados. Aspecto no considerado en los nomogramas de Micheletti⁵, que resultaría muy útil de analizar.

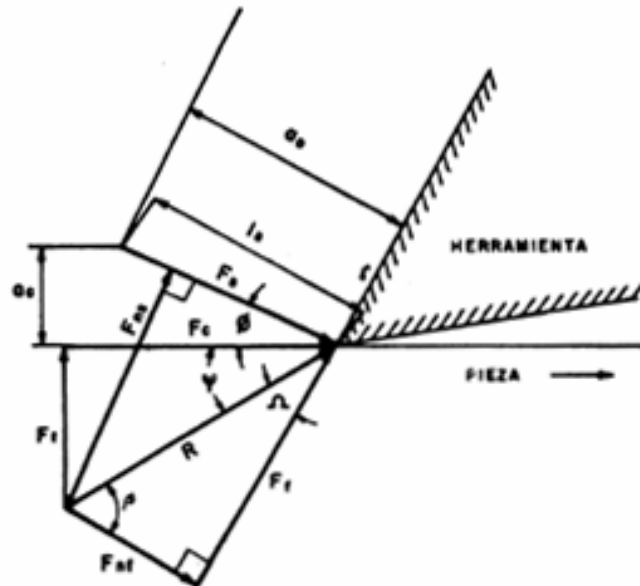


Figura 1

Diagrama de fuerzas para corte ortogonal

5. MICHELETTI, G.F.: "Mecanizado por arranque de viruta", Mecánica de Corte Ortogonal, Capítulo 3, pág. 50. Editorial Blume, Barcelona, 1980.

CONSIDERACIONES TEORICAS

Utilizando el modelo de corte ortogonal de la figura nº 1, se pueden hallar las relaciones matemáticas sustentadas por las siguientes ecuaciones, según las cuales establecen que la longitud del plano de cizalladura está dado por:

$$l_s = \frac{a_c}{\text{sen } \bar{\varphi}} = \frac{a_o}{\text{cos } (\bar{\varphi} - \tau)} \quad (1)$$

Y luego de algunas operaciones algebraicas se tiene:

$$\tan \bar{\varphi} = \frac{(a_c/a_o) \text{ cos } \tau}{1 - (a_c/a_o) \text{ sen } \tau} \quad (2)$$

Considerando $a_c/a_o = r_c$ y sustituyéndolo en la ecuación (3) se tiene:

$$\tan \bar{\varphi} = \frac{r_c \text{ cos } \tau}{1 - r_c \text{ sen } \tau} \quad (3)$$

procedimiento éste plantado por Boothroyd⁶ que relaciona el ángulo del plano de cizalladura, la razón de corte y el ángulo de desprendimiento.

En particular se puede decir que la razón de corte es una función de las dimensiones, una de las cuales a_c es

6. BOOTHROYD, G.: "Fundamentos del Corte de Metales y de las Máquinas-herramientas", Mecánica del corte de metales, Capítulo 2, pág. 73, Editorial McGraw-Hill, Bogotá, Colombia, 1978.

conocida, al igual que al ángulo de desprendimiento τ , sin embargo a_c debe ser conseguida con ayuda de la masa de viruta m_v , la densidad del material δ , el ancho de viruta que representa el avance dado por la máquina w y a la longitud del espécimen l_c como lo plantea la siguiente ecuación:

$$B_D = \frac{m_v}{l_c \cdot B_w \cdot \delta} \quad (4)$$

A continuación se realizan una serie de pasos cuyo objeto es hallar las relaciones entre las fuerzas y los ángulos a fin de poder determinar las magnitudes para distintos valores de r_c y τ .

Utilizando la ecuación planteada por Merchant⁷ que relaciona los ángulos del plano de cizalladura, de desprendimiento y el ángulo medio de fricción se tiene:

$$2 \phi + B - \tau = \pi/2 \quad (5)$$

Se halla el ángulo medio de fricción de la ecuación (5) y se obtiene un valor que asociado a una magnitud de fuerza conocida, da lugar al conjunto de ecuaciones dependientes todas de la fuerza de corte.

$$B = \pi/2 - 2 \phi + \tau \quad (6)$$

7. MERCHANT, M.E.: Mechanics of the Metal Cutting Process, J. Appl. Phys., Vol. 16, nº 5, pág. 267 y nº 6 pág. 318, 1945.

$$\Omega = \pi/2 - \beta \quad (7)$$

$$\epsilon = \pi/2 - \Omega - \tau \quad (8)$$

Determinando analíticamente de las ecuaciones (7) y (8), los valores angulares Ω y ϵ y considerando que la magnitud de la fuerza de corte unitaria es conocida, resulta:

$$R = \frac{F_c}{\cos \epsilon} \quad (9)$$

$$F_t = F_c \cdot \tan \epsilon \quad (10)$$

$$F_{ns} = R \sin (\epsilon + \delta) \quad (11)$$

$$F_s = R \cos (\epsilon + \delta) \quad (12)$$

$$F_{nf} = R \cos \beta \quad (13)$$

$$F_f = R \sin \beta \quad (14)$$

Es importante aclarar que existe una buena correspondencia entre los resultados teóricos y los experimentales en el corte de plástico sintético, pero no sucede lo mismo para los trabajos en acero con herramienta de carburo sintetizado.

Esto ocurre por no considerar que el efecto inicial de la resistencia a la cizalladura aumenta linealmente con el aumento de tensión normal en dicho plano.

DISCUSION Y ANALISIS DE RESULTADOS

Se aprecia en las figuras 3 y 4 las tendencias de las fuerzas involucradas en el proceso de corte, se nota una disminución gradual de las fuerzas de empuje F_t normales a la cara F_{nf} y normales al plano de cizalladura F_{ns} . En la medida que aumentan la razón de corte y el ángulo de desprendimiento de la cara de la herramienta, existen dos fuerzas, la de fricción F_f y la de cizalladura que manifiestan tendencia a incrementarse.

Un aumento del ángulo de desprendimiento γ determina un aumento del ángulo ϕ y en consecuencia una reducción de las fuerzas de corte y de la resultante.

Esta disminución en la resultante incide sobre la fuerza de fricción en la cara de la herramienta que se opone a la creencia de una posible disminución con el aumento del ángulo de desprendimiento, por el contrario, aumenta y en forma significativa, pero al aumentar la razón de corte el aumento lineal tiende a disminuir.

Independientemente de lo planteado por Zorev⁸ en el sentido de que el ángulo medio de fricción depende principalmente del valor del esfuerzo normal medio en la carra de la herramienta, se podría interpretar como un aumento de la fuerza de fricción por el aumento de la longitud del área de contacto adhesivo, en otras palabras, la resistencia a la cizalladura del material de la viruta en la región de adhesión τ_{st} , no es constante; si parte del hecho de que en un proceso de formación de viruta es un proceso de deformación elasto-plástico en la capa de metal removido y no un proceso elástico o plástico.

8. ZOREV, N.N.: Interrelation Between Shear Processes Occurring along Tool Face on the Shear Plane in metal Cutting, internat. Res. in Prod. Engrg. 1963, pág. 42 Internat. Prod. Engrg. Res. Conf. Pittsburgh Pa. 1963.

La figura nº 7 resulta muy interesante, ya que posee puntos en los cuales el ángulo de desprendimiento produce una anulación de la fuerza de empuje de la pieza hacia la herramienta, para luego convertirse en una fuerza de empuje de la herramienta hacia la pieza. En este punto la teoría de Ernst y Merchant no se satisface totalmente.

Esta situación irregular indica claramente que la teoría posee sus límites de aceptabilidad y tal como lo demuestra Archinov⁹ la fuerza de empuje podría disminuir por múltiples causas pero nunca hacerse cero; una de las causas es el aumento del ángulo de aproximación o posición X que hace disminuir el empuje y aumentar las fuerzas de avance sobre la herramienta pero nunca se hace cero, lo cual supone un estado de equilibrio irreal entre herramienta y pieza.

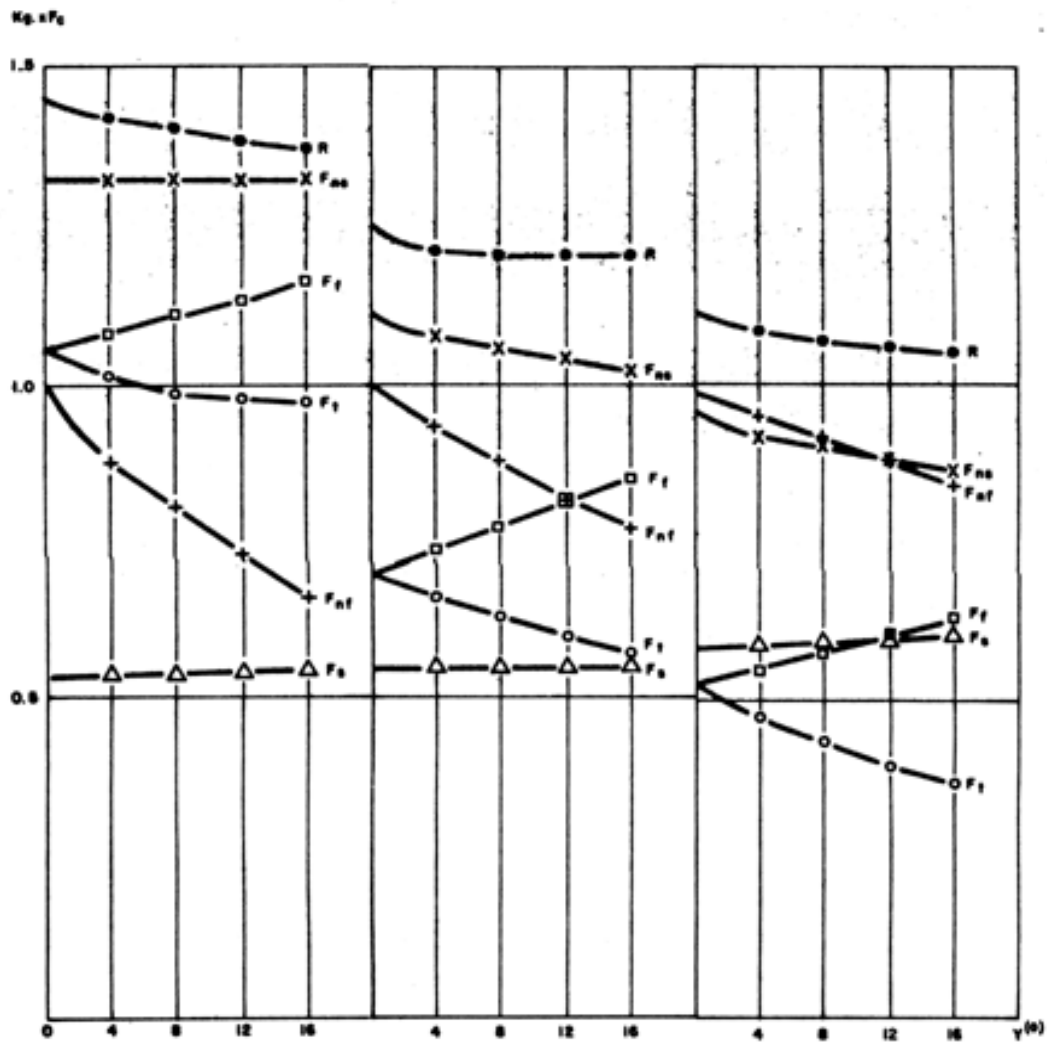
9. ARSHINOV, V. ALEKSÉEV, G.: Metal Cutting theory and Cutting Tool Design: Capítulo 5, pág. 105, Mir Publishers, Moscow, 1979.

NOMENCLATURA

- β Angulo medio de fricción sobre la cara de la herramienta.
- γ Angulo de inclinación efectivo (ángulo de desprendimiento).
- $\bar{\phi}$ Angulo de cizalladura.
- X Angulo de aproximación o posición.
- ϵ Angulo de empuje cortante.
- Ω Angulo complementario de fricción.
- a_c Espesor de viruta no deformada.
- a_0 Espesor de viruta.
- l_s Longitud del plano de cizalladura.
- F_c Fuerza de corte.
- F_f Fuerza de fricción sobre la cara de la herramienta.
- F_{nf} Fuerza normal a la cara de la herramienta.
- F_{ns} Fuerza normal al plano de cizalladura.
- F_s Fuerza de cizalladura sobre el plano de cizalladura.
- F_t Fuerza de empuje.
- R Fuerza resultante.
- r_c Módulo de corte (razón de corte).
- Γ_{at} Resistencia a la cizalladura en la región de adhesión.

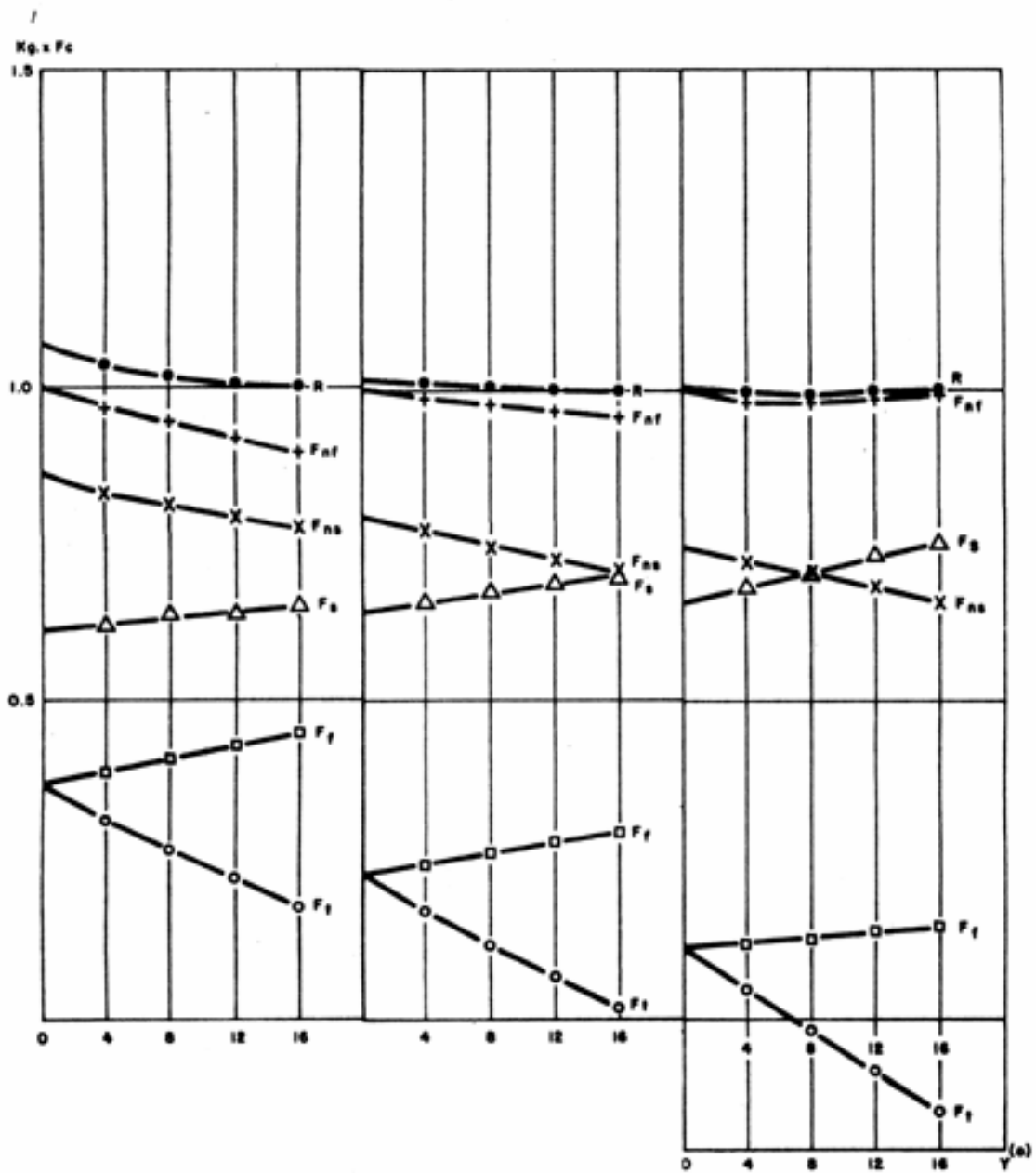
BIBLIOGRAFIA

1. ERNEST, H. y M. E. MERCHANT: Chip Formation and High Quality Machined surface, en "Surface treatment of metal", American Society of Metals, New York, Vol. 29, 1941.
2. FUGH, H. D.: Mechanics of the Cutting Process, Proc. IME Conf. Tech. Eng. Manufacture, Londres, 1956.
3. TAYLOR, F. W.: "On the Art. of Cutting Metals", Trans. ASME, Vol. 28, 1906.
4. TOUPS, R. M.: "An Analysis of the Natural Sharpness Radius of Cutting Tools", Tesis Magistral, Department of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Serp., 1961.
5. MICHELETTI, G. F.: "Mecanizado por arranque de viruta", Mecánica de Corte Ortogonal, Capítulo 3. Editorial Blume, Barcelona, 1980.
6. BOOTHROYD, G.: "Fundamentos del Corte de Metales y de las Máquinas-herramientas", Mecánica del corte de metales, Capítulo 2, Editorial McGraw-Hill, Bogotá, Colombia, 1978.
7. MERCHANT, M. E.: Mechanics of the Metal Cutting Process, J. Appl. Phys, Vol. 16, nºs 5 y 6, 1946.
8. ZOREV, N. N.: Interrelation Between Shear Processes Occurring along Tool Face on the Shear Plane in metal Cutting, Internat. Res. in Prod. Engrg. 1963. Internat. Prod. Engrg. Res. Conf. Pittsburgh Pa. 1963.
9. ARSHINOV, V. ALEKSEEV, G.: Metal Cutting theory and Cutting Tool Design: Capítulo 5, Mir Publishers, Moscow, 1979.



a) razón de corte 0.3 b) razón de corte 0.4 c) razón de corte 0.5

FIG.3.-VARIACION DE LA MAGNITUD DE LA FUERZA



a) razón de corte 0.5 b) razón de corte 0.6 c) razón de corte 0.7

FIG.4.-VARIACION DE LA MAGNITUD DE LA FUERZA