

## Notas de clases - Tecnología Mecánica

### 1 Proceso de estirado (Trefilado)

**Definición 1** El estirado es un proceso por el cual se reduce o cambia la sección transversal de una barra o alambre largo, en general aplicando un esfuerzo de tracción (de ahí el término estirado) a través de un dado o matriz conocido como TREFILA. Por lo tanto, la diferencia entre el estirado (trefilado) y la extrusión, es que en ésta el material se empuja a través de un dado, mientras que en el estirado se tira a través de él.

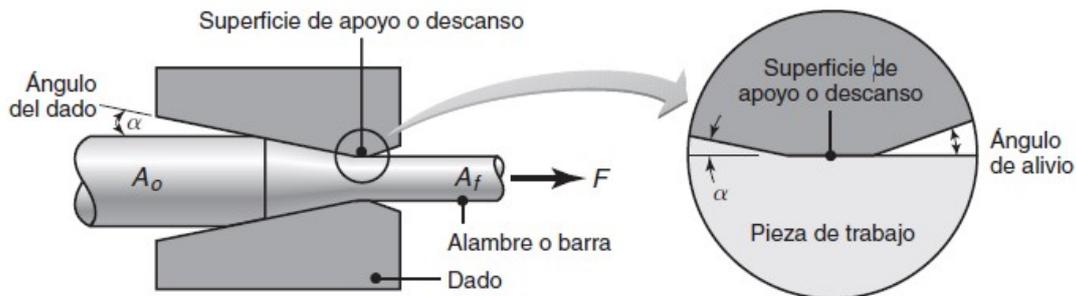


Figure 1: Variables de proceso en el estirado de alambre. Tanto el ángulo de la matriz, la reducción en el área transversal, la velocidad del estirado, la temperatura y lubricación, afecta la fuerza de estirado.

Los productos de barra y alambre abarcan una muy amplia gama de aplicaciones, incluyendo redondos para flechas de transmisión de potencia y movimiento, componentes de máquinas y estructurales, piezas brutas para pernos y remaches, alambre eléctrico, cables, miembros estructurales con carga de tensión, electrodos de soldadura, resortes, sujetadores para papel, rayos para ruedas de bicicleta e instrumentos musicales de cuerda. Las variables principales de procesamiento en el estirado son similares a las de la extrusión; es decir, la reducción del área transversal, el ángulo del dado o matriz, la fricción a lo largo de las interfaces del dado y la pieza de trabajo, así como la velocidad de estirado. El ángulo de la matriz influye en la fuerza de estirado y la calidad del producto obtenido.

#### 1.1 Fuerza de trefilado

La expresión para la fuerza de estirado bajo condiciones ideales y sin fricción es similar a la de la extrusión. Se determina mediante la expresión:

$$F = Y_{prom} A_f \ln \left( \frac{A_0}{A_f} \right) \quad (1)$$

en la que  $Y_{prom}$  es el esfuerzo real promedio del material. Puesto que debe realizarse más trabajo para vencer la fricción, la fuerza aumenta con el incremento de esta. Además, debido a la deformación no uniforme que ocurre dentro de la zona de la matriz, también se requiere energía adicional (conocida como trabajo redundante de deformación). No obstante que se han desarrollado varias ecuaciones para estimar la fuerza, donde una fórmula útil que incluye la fricción y el trabajo redundante es:

$$F = Y_{prom} A_f \left[ \left(1 + \frac{\mu}{\alpha}\right) \ln \left(\frac{A_0}{A_f}\right) + \frac{2}{3}\alpha \right] \quad (2)$$

donde  $\mu$  es el coeficiente de fricción y  $\alpha$  es el ángulo de la matriz en radianes.

Como se puede ver en estas ecuaciones, la fuerza de estirado aumenta al incrementarse la reducción. Sin embargo, tiene que limitarse la magnitud de la fuerza, porque cuando el esfuerzo de tensión alcanza el esfuerzo de fluencia del metal que se está estirando, la pieza de trabajo cede y finalmente se rompe.

Se puede demostrar que, en teoría y sin fricción, la relación máxima posible de área transversal esta dada por:

$$\frac{A_0}{A_f} = e = 2,7183 \quad (3)$$

y la reducción de área  $\left(r = \frac{A_0 - A_f}{A_0}\right)$  máxima posible es:

$$r_{max} = \frac{e - 1}{e} = 0,632 \quad (4)$$

es decir, que la reducción máxima posibles es del 63% por pase. Así que, por ejemplo, una barra de 10 mm de diámetro puede reducirse (como máximo) a un diámetro de 6,1 mm en un solo pase sin que se rompa.

Se puede demostrar que, para cierta reducción de diámetro y cierta condición de fricción, existe un ángulo óptimo de la matriz donde la fuerza de estirado es mínima. Esto no significa que el proceso deba efectuarse en este ángulo óptimo, porque existen otras consideraciones de calidad en los productos.

→ **Material de lectura:**

- [Kalpakjian and Schmid, 2014, Capítulo 15]
- [Groover, 2007, Capítulo 19]

## References

[Groover, 2007] Groover, M. (2007). Fundamentos de manufactura moderna. tercera edición. ed. México, DF: Mc Graw Hill.

[Kalpakjian and Schmid, 2014] Kalpakjian, S. and Schmid, S. R. (2014). *Manufactura, ingeniería y tecnología. Volumen 2*. Pearson educación.