

# Coeficiente de ensanchamiento “Ce” en la laminación de perfiles con una cara inclinada.

**H. F. Cabrera Araujo\* y A. Medina Moreno\*\***

Unidad Docente Metalúrgica, Facultad de Ingeniería Mecánica,  
Departamento de Ingeniería, ACINO  
Instituto Superior Politécnico *José Antonio Echeverría*, La Habana 19390, Cuba.  
E – mail: udm@aacero.colombus.cu.

(Recibido el 16 de enero de 2001; aceptado el 22 de febrero de 2001)

## Resumen

Se presenta la deducción teórica del coeficiente de ensanchamiento “Ce” para el caso de la laminación de perfiles con una cara inclinada, no recogido en la literatura especializada, aplicando el método propuesto por A. V. Minkin. Además se deduce una ecuación que expresa la relación entre las dimensiones del calibre con los parámetros de la deformación.

**Palabras claves:** laminación, deformación plástica, calibres, ensanchamiento

## 1. Introducción

Durante la laminación el volumen de metal desplazado, producto de la compresión de los cilindros, se distribuye en las direcciones longitudinal y transversal. Como durante la deformación plástica el volumen de metal que se deforma prácticamente no varía, esto se puede expresar por la siguiente ecuación, denominada ecuación del volumen constante [1]:

$$\Delta V = \Delta V_x + \Delta V_y \quad (1)$$

donde:

$\Delta V$ - volumen de metal desplazado por los cilindros;

$\Delta V_x$ ,  $\Delta V_y$  – volúmenes de metal, desplazados en las direcciones longitudinal y transversal.

La deformación transversal, que provoca el incremento del ancho o ensanchamiento del metal, aumenta el trabajo necesario para la obtención del perfil terminado y a la vez puede ejercer una influencia significativa en la tecnología de laminación, particularmente es grande la influencia del ensanchamiento en la calibración de los cilindros. Es por eso que la determinación correcta del ensanchamiento es una condición de extrema importancia para el cálculo de las calibraciones, es decir para el logro de la correspondencia entre las dimensiones reales y las calculadas del perfil.

Comenzando por los trabajos de E. Blass y hasta nuestros días el problema del ensanchamiento se ha encontrado en el centro de la atención de muchos investigadores, es por ello que hoy se pueden encontrar un gran número de fórmulas para su determinación, sin embargo, para muchos, el problema aún no es considerado estudiado en un grado tal que permita resolver algunos problemas concretos de la laminación y en particular de algunas calibraciones. Para Minkin A. V. [1] entre las causas de este hecho están:

- La mayoría de las investigaciones experimentales y las fórmulas existentes para el cálculo del ensanchamiento se refieren al caso simple de la laminación entre cilindros lisos.
- En la mayoría de los trabajos experimentales, desarrollados en calibres, como medida de la deformación transversal se asume el ensanchamiento absoluto  $\Delta b = b_1 - b_0$  o el relativo  $\beta = \Delta b / b_0$ . La magnitud del ensanchamiento absoluto o del relativo, solo puede servir como medida de la deformación transversal para el caso de la laminación de una sección rectangular o cuadrada entre cilindros lisos, y esto suponiendo que el incremento del ancho del metal es uniforme para toda la altura del perfil. En la realidad el ensanchamiento por la altura del perfil rectangular o cuadrado no es uniforme y por el ancho

final  $b_1$  se toma el mayor ancho por la altura de la sección laminada.

- Durante la laminación en calibres es menos posible emplear el ensanchamiento absoluto o relativo como medida de la deformación transversal ya que en dependencia de la forma del calibre y su grado de llenado con metal se puede obtener un mayor aumento del ancho con menor deformación transversal y viceversa.

• Por lo anterior y basado en sus investigaciones Minkin A. V. [1] considera que lo más correcto, es emplear en calidad de indicador del ensanchamiento la relación entre el volumen del metal desplazado en la dirección transversal y el volumen total del metal desplazado durante la deformación. A esta relación le llama coeficiente de deformación transversal o simplemente coeficiente de ensanchamiento “ $C_e$ ”, el cual expresa no solo el incremento del ancho, sino también la parte que corresponde a la deformación transversal en la deformación total del perfil laminado. Este coeficiente, para perfiles de cualquier configuración se expresa por:

$$C_e = \frac{\Delta V_y}{\Delta V} = 1 - \frac{\Delta V_x}{\Delta V} \quad (2)$$

Es evidente que durante la laminación, sin que el metal se encuentre tensado entre los castillos de laminación, la magnitud del coeficiente de ensanchamiento siempre estará entre los límites  $0 < C_e < 1$ : para  $C_e = 0$  – no existe ensanchamiento y el metal recibe la máxima elongación; para  $C_e = 1$  – todo el volumen de metal desplazado va al ensanchamiento, no hay elongación.

La magnitud de los volúmenes de metal desplazados en las direcciones longitudinal y transversal, producto del volumen constante del metal durante la deformación plástica, es equivalente a las variaciones correspondientes de la sección transversal del perfil. De aquí que de acuerdo con lo antes señalado el coeficiente de ensanchamiento “ $C_e$ ” para cualquier perfil se pueda expresar por:

$$C_e = \frac{\Delta F_y}{\Delta F} \quad (3)$$

donde:

$\Delta F_y$  – incremento del área de la sección transversal del perfil producto del ensanchamiento;

$\Delta F$  – área de la sección transversal del perfil, desplazada durante la deformación.

## 2- Coeficiente de ensanchamiento “ $C_e$ ” para la laminación de perfiles con una cara inclinada

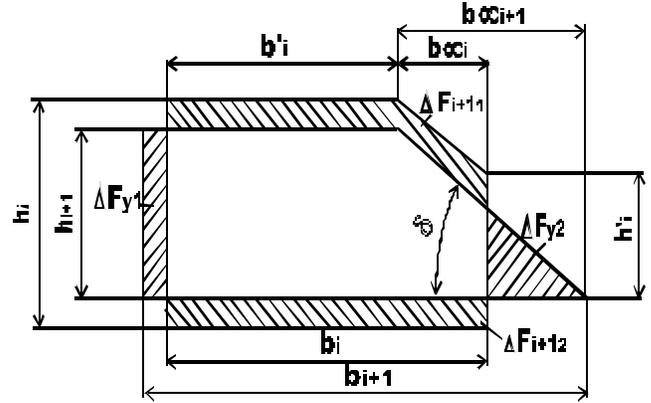


Fig. 1 Deformación de un perfil con una cara inclinada.

Durante la laminación siempre ocurre la disminución del área de la sección transversal del perfil producto de la elongación, por tanto el incremento del área  $\Delta F_y = \Delta F_{y1} + \Delta F_{y2}$  (Fig.1) hay que verlo convencionalmente, es decir, como el exceso del área real del perfil en comparación con el área que tendría después de la deformación si estuviera ausente la deformación transversal, es decir el ensanchamiento.

$$\Delta F_{yi+1} = \Delta F_{y1} + \Delta F_{y2} = F_{i+1} + F_{0i+1} \quad (4)$$

$F_{i+1}$  - área de la sección transversal del perfil después de la deformación;

$F_{0i+1}$  - área de la sección del perfil después de la deformación en ausencia de la deformación transversal.

$$F_{i+1} = h_{i+1} b_{i+1} - \frac{\tan \alpha}{2} b_{ai+1}^2 \quad (5)$$

$$F_{0i+1} = h_{i+1} b_i - \frac{\tan \alpha}{2} b_{ai}^2 \quad (6)$$

Sustituyendo en (4) se obtiene:

$$\Delta F_{yi+1} = h_{i+1} (b_{i+1} - b_i) - \frac{\tan \alpha}{2} (b_{ai+1}^2 - b_{ai}^2) \quad (7)$$

### Coeficiente de ensanchamiento "Ce" en la laminación de perfiles con una cara inclinada.

El área de metal, desplazada durante la laminación será igual a:

$$\Delta F_{i+1} = F_i - F_{0i+1} \quad (8)$$

donde

$F_i$ - área de la sección transversal del semiproducto que alimenta al calibre.

$$F_i = h_i b_i - \tan \alpha \frac{b_{ai}^2}{2} \quad (9)$$

Sustituyendo en (8) se tiene se obtiene finalmente

$$\Delta F_{i+1} = b_i (h_i - h_{i+1}) \quad (10)$$

Por tanto el coeficiente de ensanchamiento  $C_e$  será igual a:

$$C_e = \frac{h_{i+1} (b_{i+1} - b_i) - \tan \alpha \frac{b_{ai+1}^2 - b_{ai}^2}{2}}{b_i (h_i - h_{i+1})} \quad (11)$$

### 3. Relación entre las dimensiones del calibre y los parámetros de la deformación que en el ocurre

Según Minkin A. V. [1] la relación entre las dimensiones del calibre y del metal laminado se puede expresar, independientemente de la forma del calibre, por la expresión:

$$F_{ki} - \Delta F_{ki} = F_i - \Delta F_{yi} \quad (12)$$

donde

$F_{ki}$ - Área del calibre

$\Delta F_{ki}$ - Parte del área del calibre que estaría libre de metal de no haber ensanchamiento

$F_i$ - Área de la sección transversal del perfil laminado

$\Delta F_{yi}$ - Incremento del área de la sección transversal del metal producto del ensanchamiento

En la Fig. 2 se muestra la laminación de un perfil en un sistema de calibres con una cara inclinada.

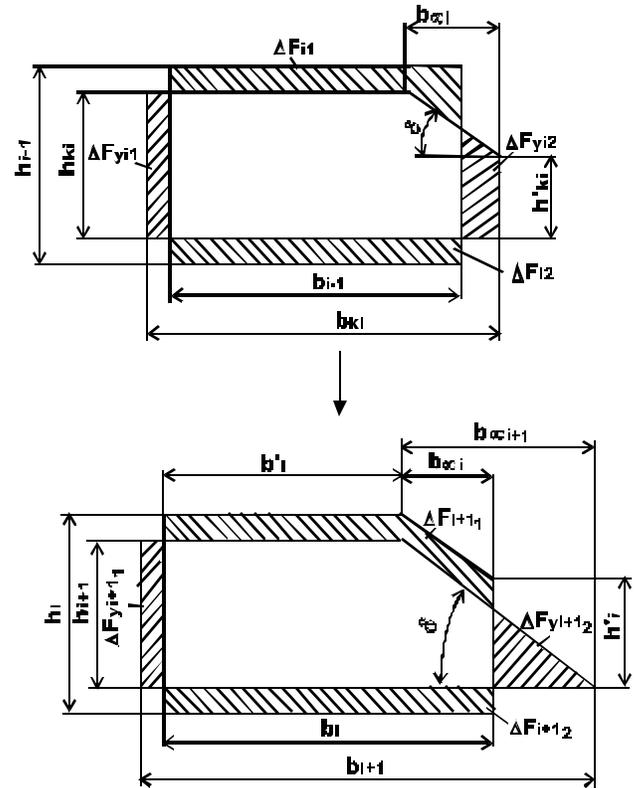


Fig. 2 Deformación en calibres con una cara inclinada

En la Fig. 2 se observa que el área de la sección del metal en el calibre i+1 será igual a:

$$F_{i+1} = b_{ki+1} h_{ki+1} - \tan \alpha \frac{b_{ai+1}^2}{2} \quad (13)$$

El área de metal, desplazada durante la laminación en el calibre i+1 (ver Fig.2)

$$\Delta F_{i+1} = F_i - h_{ki+1} b_{ki} + \tan d \frac{b_{ai}^2}{2}$$

donde:

$$F_i = h_{ki} b_{ki} - \tan d \frac{b_{ai}^2}{2} \quad (14)$$

Sustituyendo se tiene:

$$\Delta F_{i+1} = b_{ki} (h_{ki} - h_{ki+1}) \quad (15)$$

Según Minkin A. V. [1]

$$\Delta F_{i+1} = \frac{I_{i+1} - 1}{1 - C_{ei+1}} F_{i+1} \quad (16)$$

por tanto

$$b_{ki} (h_{ki} - h_{ki+1}) = \frac{I_{i+1} - 1}{1 - C_{ei+1}} F_{i+1}$$

Sustituyendo  $F_{i+1}$  se obtiene finalmente

$$b_{ki+1} = \frac{b_{ki} (h_{ki} - h_{ki+1}) + \frac{I_{i+1} - 1}{1 - C_{ei+1}} \tan d \frac{b_{ai+1}^2}{2}}{\frac{I_{i+1} - 1}{1 - C_{ei+1}} h_{ki+1}} \quad (17)$$

#### 4. Conclusiones

- La parte de la deformación transversal del metal en la laminación de perfiles con un lado inclinado, independientemente de sus dimensiones, puede ser evaluada con ayuda del coeficiente de ensanchamiento  $C_e$ , determinado por la expresión (11). Si se observa se podrá apreciar que esta expresión toma en cuenta un grupo de parámetros que tienen una influencia significativa en el ensanchamiento del metal.
- Conociendo la magnitud del coeficiente  $C_e$  es posible establecer la relación existente entre las dimensiones del calibre y los parámetros de la deformación que en él ocurre.
- Como se puede apreciar la expresión (17) toma en cuenta no solo los parámetros de la deformación sino también las dimensiones del perfil que a él se alimenta.

#### Bibliografía

A. V. Minkin. *Cálculo de sistemas de calibres elongadores*. Editorial Metalurgia, Moscú, 1989.

---

## Coefficient of widening “Ce” in the rolling of profiles with an inclined side

### Abstract

The theoretical deduction of the coefficient of widening “Ce” is presented for the case of the rolled steel shapes with an inclined side, not presented in the specialized literature, applying the method proposed by A. V. Minkin. It also deduced an equation that expresses the relationship between the dimensions of the caliber and the parameters of the deformation.

**Key words:** plastic deformation, caliber, widening, rolling mill